ISSN: 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

ГИДРОСФЕРА

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ



www.hydro-sphere.ru

Том 1 Выпуск 4



ГИДРОСФЕРА.
ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Том 1, Выпуск 4

Выходит 4 раза в год

ISSN 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

Учредители журнала

Научно-исследовательский центр «Геодинамика»
Научно-производственное объединение «Гидротехпроект»
Институт водных проблем Российской академии наук

HYDROSPHERE.
HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA
(GIDROSFERA.
OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)

Volume 1, Issue 4

Issued 4 times per year

ISSN 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

Founders

Research Center «Geodynamics»
Scientific Production Association «Gidrotechproekt»
Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences

Технический редактор

Информацию о принятых в печать материалах можно получить на сайте журнала или у технического редактора **Кадацкой Марии Михайловны**, e-mail info@hydro-sphere.ru.
Сведения о вышедших номерах и условиях подписки на сайте журнала: www.hydro-sphere.ru.
Свидетельство о регистрации СМИ **ПИ № ФС 77-76914** от 11.10.2019

Technical editor

Information on materials accepted for publication can be obtained on the journal's website or by e-mail info@hydro-sphere.ru of technical editor **Mariya Kadatskaya**.

Information about the issues and subscription conditions on the journal website: www.hydro-sphere.ru.
Certificate of registration as the media **ПИ No ФС 77-76914** from 11.10.2019

ИЗДАТЕЛЬСТВО:
ООО НПО «Гидротехпроект»

PUBLISHING:
Scientific Production Association «Gidrotechproekt»

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Санкт-Петербург, 14-я линия В.О.
д. 97 пом. 3н.

Для почтовых отправлений: 199155 Санкт-Петербург, а/я 136, Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»

Тел. +7(812)313-83-48,
e-mail: info@hydro-sphere.ru

EDITORIAL ADDRESS:

St. Petersburg, 14th line of Vasilyevsky Island, 97 of. 3n.

For mail: 199155 St. Petersburg, PO Box 136 Editorial Board of the «Hydrosphere. Hazardous processes and phenomena»

Tel. +7(812)313-83-48,
e-mail: info@hydro-sphere.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ

METHODS, MODELS AND TECHNOLOGIES

УДК 556.56

DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.462

ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕРОХОВАТОСТИ

А.Ю. Виноградов[1,2], Т.А. Виноградова[1,3], В.А. Обязов[1], М.М. Кадацкая[1]

[1]ООО Научно-производственное объединение "Гидротехпроект", г. Валдай, Россия; [2]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург, Россия; [3]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

gd@npogtp.ru

ASSESSMENT OF ROUGHNESS COEFFICIENT VALUE

Alexey Yu. Vinogradov[1,2], Tatiana A. Vinogradova[1,3], Viktor A. Obyazov[1], Mariya M. Kadatskaya[1]

[1]Scientific and Industrial Research Association Gidrotehproekt, Valday, Russia;[2]Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russia; [3]Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

gd@npogtp.ru

Аннотация. В статье рассматривается один из основных параметров при проведении водохозяйственных расчетов – коэффициент шероховатости. Оценка его величины до настоящего времени проводится по специальным таблицам или расчетным способом. Приведены различные методы расчета коэффициента шероховатости – от оценки обратным путем по формуле Шези по результатам измерений до эмпирических зависимостей, полученных различными специалистами на основе натурных исследований. Кроме того, авторами рассмотрены формулы расчета коэффициента шерохо-

Abstract. The article considers one of the main parameters while conducting water management calculations – the roughness coefficient. Up-to-date assessment of its value is carried out according to special tables or by calculation. Article presents various methods for calculating the roughness coefficient – from the reverse evaluation using the Chezy formula by the measurements to the empirical relations obtained by various specialists on the basis of field studies. In addition, the authors considered formulas for calculating the roughness coefficient based on physics. The results of calculations

Vinogradov A.Yu., Vinogradova T.A., Obyazov V.A., Kadatskaya M.M. Assessment of roughness coefficient value. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 4, pp. 462-476 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.462

ватости на основании физических соображений. Результаты расчетов, полученных по таким зависимостям, наилучшим образом соответствуют их значениям, полученным обратным путем из формулы Шези. Приведенные в статье методы расчета апробированы на данных гидрологических постов р. Полисть – Подтополье за 1954 г. и р. Гозовка – Гоза за период 2014-2017 гг.

При сравнении результатов измерений, расчетов по различным зависимостям и оценочных табличных данных сделаны следующие выводы. Потери напора в явном виде зависят от глубины потока и уклона свободной поверхности, последний параметр в неявном виде характеризует сопротивление русла. При одних и тех же расходах воды изменение величины коэффициента шероховатости может достигать десятков процентов. При различном же наполнении русла коэффициент шероховатости может измениться в несколько раз, что предопределяет соответствующие ошибки при табличной оценке коэффициента шероховатости даже для упрощенного случая – только для открытого русла. Поэтому все зависимости, учитывающие только крупность русловых отложений, принципиально не могут иметь практического применения.

Общий вывод: даже при одном и том же уровне воды для упрощенных условий открытого русла без растительности, коэффициент шероховатости может отличаться в разы, что сводит

obtained for such formulas best fit their values obtained in the inverse way from the Chezy formula. The calculation methods presented in the article were tested on the data of gauging station on the river Polist' – near the settlement Podtopol'e for the period of 1954 year and on the river Gozovka – near the settlement Goza for the period 2014-2017.

Behind comparing the results of measurements, calculations for various formulas and estimated tabular data, the authors made the following conclusions. Pressure losses in explicit depends on the depth of the stream and the slope of the free surface, the last one implicitly characterizes the frictional of the channel. At the same water flow rates, a change in the roughness coefficient can reach tens of percent. With different filling of the channel, the roughness coefficient can change by several times, which predetermines the corresponding errors in the tabular estimation of the roughness coefficient, even for a simplified case – only for an open channel. Therefore, all the dependencies, taking into account only the granulometric of riverbed deposits, basically can not have practical application.

General conclusion: even with the same water level for simplified conditions of an open channel without vegetation, the roughness coefficient can differ by several times,

к нулю все попытки в его теоретической оценке при отсутствии прямых измерений уклона, скорости и средней глубины.

Ключевые слова: коэффициент шероховатости; потери напора на трение; формула Шези; крупность русловых отложений; коэффициент гидравлического трения; динамическая скорость.

which nullifies all attempts to theoretically evaluate it in the absence of direct measurements of slope, speed, and average depth.

Keywords: roughness coefficient; frictional pressure losses; Chezy formula; granulometric of riverbed deposits; factor of hydraulic friction; dynamic velocity.

Введение

Коэффициент шероховатости является одним из основных параметров при проведении водохозяйственных расчетов, моделировании движения волн паводков и попусков, расчетов трансформации стока по русловой сети и уровенного режима рек и каналов при проектировании инженерных и гидротехнических сооружений.

Поскольку для определения коэффициента шероховатости используются не только разные подходы, но и множество формул, основанных даже на одном подходе, целью данной работы является оценка достоверности получаемых его величин различными методами. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выявить основные параметры, определяющие величину потерь напора на трение;
- выполнить сравнительный анализ существующих зависимостей для определения коэффициента шероховатости и выявить те, которые наилучшим образом соответствуют его значениям, полученных обратным путем из формулы Шези;
- оценить ошибку табличной оценки коэффициента шероховатости;
- оценить правомерность практического применения для определения величины коэффициента шероховатости зависимостей, учитывающих только крупность русловых отложений;
- оценить возможность теоретической оценки коэффициента шероховатости при отсутствии прямых измерений уклона, скорости и средней глубины.

Условные обозначения

n – коэффициент шероховатости;

C – коэффициент Шези, м$^{1/2}$/с;

R – гидравлический радиус, м, в рассматриваемом случае плоского равномерного открытого потока гидравлический радиус $R \approx H$;

H – средняя глубина потока, м;

V – средняя скорость потока , м/с;

i – уклон водной поверхности, доли единицы;

d – эффективный диаметр русловых отложений, соответствующий 50%-му значению крупности частиц по гранулометрической кривой, м[1];

B – ширина русла, м;

τ – касательное напряжение, $\frac{кг}{м \cdot с^2}$;

ρ – плотность жидкости, 1000 кг/м^3;

V_* – динамическая скорость (скорость трения), являющаяся мерой интенсивности турбулентного пульсационного движения и численно равная[2] $V_* = \sqrt{\tau / \rho}$;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с^2;

λ – коэффициент гидравлического трения, б/р;

$h_{пн}$ – потери напора на трение, м;

μ –динамическая вязкость, кг/м·с;

Δ – высота выступов шероховатости, м;

ν – кинематическая вязкость, м^2/с;

l – длина рассматриваемого участка, м;

A –экспериментальный коэффициент пропорциональности.

[1] Р 52.24.627-2007 Рекомендации. Усовершенствованные методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ. – Ростов н/Д., 2008. – 172 с.

[2] ГОСТ 23281-78 Аэродинамика летательных аппаратов. Термины, определения и буквенные обозначения. – М., 1979. – 33 с.

Материалы и методы

Оценка величины коэффициента шероховатости до настоящего времени проводится двумя способами: описательным, с использованием таблиц М.Ф. Срибного, В.Т. Чоу, И.Ф. Карасева, Дж. Бредли, И.И. Агроскина, Л.А. Васильевой и др., и расчетным. Последний основан, как правило, на формуле Павловского-Маннинга:

$$n = \frac{1}{C} R^{1/6} \quad (1)$$

Коэффициент Шези определяется обратным путем с помощью формулы Шези по измеренным величинам скорости течения V, уклону водной поверхности i и гидравлическому радиусу R, полученному с помощью морфометрических измерений:

$$C = \frac{V}{\sqrt{Ri}} \quad (2)$$

Выбор табличных значений коэффициентов шероховатости зависит от точности и детализации описания рассматриваемого участка реки. К тому же табличное описание является качественным, что всегда подразумевает известную долю субъективизма при подборе того или иного значения коэффициента шероховатости. Точность подобранных значений даже по предложенной в [Барышников, Плоткина, Рублевская, 1991] уточненной таблице значений коэффициентов шероховатости для беспойменных русел естественных водотоков колеблется в пределах $\pm(10 \div 30)\%$.

В попытках найти более объективный подход к оценке коэффициента шероховатости многие исследователи [Мамедов, 2013] предлагают эмпирическую зависимость следующего вида:

$$n = \frac{i^a}{b} \quad (3)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты.

Считается, что зависимость (3) применима для русел, в которых формирование ложа связано непосредственно со скоростью [Мамедов, 2013]. Значения коэффициентов зависимости (3) разнятся в различных источниках:

у М.Ф. Срибного для горных рек и периодических водотоков в землисто-каменистых руслах (без растительности), при $i > 0{,}0005$ $a = 0{,}25$; $b = 6{,}5$; (3а)

у Кханны для стабильных русел $a = 0{,}25$; $b = 8{,}05$; (3б)

у В.Ф. Толмаза при $i > 0{,}0075$ $a = 0{,}3$; $b = 5{,}0$; (3в)

у П.А. Шатберашвили $a = 0{,}2$; $b = 8{,}33$. (3г)

В некоторых источниках основным параметром, определяющим шероховатость русла, принимают крупность русловых отложений:

$$n = \frac{d^a}{b} \tag{4}$$

по Штриклеру [Барышников, 2003] $a = \frac{1}{6}$; $b = \sqrt{g}/0{,}15 \approx 20{,}88$; (4а)

по Чангу $a = \frac{1}{6}$; $b = 19{,}231$; (4б)

по В.М. Маккавееву и А.В. Караушеву $a = \frac{1}{6}$; $b = 10{,}753$; (4в)

по М.А. Мосткову $a = \frac{1}{6}$; $b = 20{,}408$; (4г)

по Р 52.24.627-2001[3] $a = \frac{1}{6}$; $b = 33{,}333$; (4д)

по Г.В. Железнякову [Железняков, 1981]:

для $1 \le H/d \le 3$ $a = \frac{1}{3}$; $b = 6{,}25 \div 12{,}5$; (4е)

для $3 \le H/d \le 10$ $a = \frac{1}{4}$; $b = 12{,}5 \div 17{,}857$; (4ж)

для $10 \le H/d \le 20$ $a = \frac{1}{5}$; $b = 17{,}857 \div 20{,}0$; (4и)

для $20 \le H/d < 1000$ $a = \frac{1}{6}$; $b = 22{,}222$ (4к)

[3] Там же

М. Пирковским предложена следующая зависимость:

$$n = 0{,}025 + 0{,}1d\,. \tag{5}$$

Кроме того, для расчета коэффициента шероховатости в разное время предлагались следующие зависимости:

В.М. Маккавеевым [Мамедов, 2013] $n = a\sqrt[6]{Hi}$; (6)

А.Ш. Мамедовым [Мамедов, 2013] $n = 0{,}07(i^{0{,}16} + i^{0{,}2})$; (7)

В.С. Алтуниным и Л.В. Ларионовой [Косиченко, 2011]

$$n = 0{,}000005(50 - B/H)^{2{,}5} + 0{,}018. \tag{8}$$

В [Железняков, 1981] предлагается использование следующей зависимости, которую автор выводит из формулы Шези:

$$n = \frac{H^{0{,}5+y} i^{0{,}5}}{V} = \frac{H^{2/3} i^{0{,}5}}{V} \tag{9}$$

Рассмотрим равномерное установившееся движение водного потока по прямолинейному участку русла. Для упрощения задачи примем отсутствие ледовых явлений и водной растительности на участке русла. Воздействие на реальный турбулентный поток оказывают донные отложения различной крупности, гряды и другие формы микрорельефа дна. Для турбулентного режима за придонную скорость принимается скорость потока на высоте выступов шероховатости [Виноградов и др., 2019a].

Касательное напряжение на границе дно-поток [Гришанин, 1969]:

$$\tau = \rho V_*^2 = \rho \cdot gHi \tag{10}$$

В турбулентном потоке касательное напряжение будет пропорционально второй степени скорости:

$$\tau = \rho\lambda \frac{V^2}{2} \tag{11}$$

Потери напора на трение: $h_{пн} = \lambda \frac{V^2}{2g}$, то есть $\lambda \frac{V^2}{2} = h_{пн} g$, откуда $\tau = \rho \cdot g h_{пн}$.

Учитывая ранее приведенную формулу (10) получаем простое выражение для оценки потерь напора на трение:

$$h_{пн} = Hi \text{ или } h_{пн} = \frac{\tau}{\rho g} \qquad (12)$$

что позволяет сделать следующий важный вывод: величина потерь напора на трение в явном виде зависит от глубины потока и уклона свободной водной поверхности и прямо пропорциональна касательному напряжению на границе дно-поток.

Далее, поскольку известно¸ что

$$h_{пн} = \lambda \frac{V^2}{2g}$$

$$\lambda = \frac{2g}{C^2}$$

$$C = \frac{1}{n} H^{1/6},$$

получаем

$$h_{пн} = \frac{2gV^2}{C^2 2g} = \frac{V^2}{C^2} = \frac{V^2 n^2}{H^{1/3}} \qquad (13)$$

Учитывая (12) получаем окончательно:

$$n = \sqrt{\frac{h_{пн} H^{1/3}}{V^2}} = \frac{1}{V}\sqrt{HiH^{1/3}} = \sqrt{H^{4/3} i} = \frac{H^{2/3} i^{1/2}}{V} \qquad (14)$$

Полученная зависимость соответствует формулам Г.В. Железнякова (9) и Шези.

Второй вариант расчета коэффициента шероховатости можно оценить с учетом крупности донных отложений *d*, м и динамической вязкости μ, кг/м·с.

Высота выступов шероховатостей [Виноградов и др., 2019б]:

$$\mu \frac{V}{\Delta^2} \approx \frac{\rho \cdot V^2}{l}, \qquad (15)$$

на участке единичной длины l =1: $\Delta = \sqrt{\frac{\nu}{V}}$. Например, средний диаметр частиц донных отложений в створе гидрометрического поста р. Вилия-Малые Свирянки на дату отбора проб октябрь 2014 г. – 0,0012 м, расчетное значение – 0,0015 м.

В литературе [Гришанин, 1969; Снищенко, 2010; Триандафилов, Ефимова, 2012] высоту внешней границы буферного слоя (в нашем примере соответствует высоте выступов шероховатости) считают по следующей зависимости:

$$\Delta = \frac{A\nu}{V\sqrt{\lambda}}, \qquad (16)$$

С учетом

$$V = \frac{1}{n} H^{1/6} \sqrt{Hi} \qquad (17)$$

$$n = \frac{H^{1/6}\sqrt{Hi}}{A\nu / \Delta\sqrt{\lambda}} \qquad (18)$$

Некоторую неопределенность в зависимость (18) привносит коэффициент A, величина которого по различным данным может изменяться от 10 до 50. Значения А для р. Полпе ($\Delta = 0{,}0026$ м) – 49; р. Вилии ($\Delta = 0{,}0015$ м) – 47; р. Страчи ($\Delta = 0{,}0031$ м) – 26; р. Гозовки ($\Delta = 0{,}0025$ м) – 41.

Результаты и обсуждение

Точность определения коэффициентов шероховатости равнинных ручьев и рек, рассчитанных обратным путем, можно оценить по результатам анализа таблицы 1. В ней приведены данные различных по размерам рек, меженные расходы воды которых меняются от 0,060-0,070 (руч. Полпе) до 900-1000 $м^3/с$ (р. Ока). Состояние рек на участке гидроствора в момент измерений – свободное русло, ледовые явления и русловая водная растительность отсутствуют.

Анализ таблицы 1 показывает, что расчетный коэффициент шероховатости не остается постоянным даже при близких по значению расходах воды. В некоторых случаях при

незначительных колебаниях последнего на единицы процентов значения коэффициента шероховатости могут измениться на 20-30% и более.

Таблица 1. Расчетные значения руслового коэффициента шероховатости *n* для ручьев и рек различных размеров

Table 1. Calculated values of the riverbed roughness coefficient n for streams and rivers of various sizes

Река	Дата	C, $м^{1/2}/с$	R, м	Q, $м^3/с$	*n* расчетное	*i*	*n* табличное[4] по Р 52.24.627-2007
Полпе	07.12.2013	17,4	0,12	0,072	0,040	0,0013	0,030
	17.03.2014	14,6	0,09	0,062	0,046	0,0043	
Гозовка	22.03.2015	13,3	0,20	0,246	0,058	0,00091	0,030
	25.03.2015	15,2	0,20	0,280	0,050	0,00099	
	28.03.2015	18,8	0,19	0,253	0,040	0,00061	
	24.05.2015	16,3	0,19	0,274	0,047	0,00097	
Страча	25.02.2016	18,7	1,74	7,47	0,059	0,000056	0,040
	27.02.2016	23,7	1,73	7,01	0,046	0,000031	
	27.11.2017	15,7	1,63	7,45	0,069	0,000093	
Вилия	21.03.2015	21,2	1,67	63,2	0,051	0,0005	0,035
	26.03.2015	27,9	1,61	60,7	0,039	0,0003	
	12.12.2015	40,5	1,47	46,2	0,026	0,00011	
	14.12.2015	33,2	1,47	46,4	0,032	0,00017	
Ока	30.10.2013	41,4	4,1	942	0,031	0,000055	0,040
	01.05.2014	34,5	4,5	1048	0,037	0,000074	
Мзымта	27.05.1974	23,3	1,14	124	0,044	0,0079	0,067
	06.07.1972	24,5	1,11	123	0,042	0,0074	
	25.10.1972	23,0	1,18	128	0,045	0,0078	
	30.02.1970	24,7	1,19	140	0,042	0,0074	
	14.05.1969	23,1	1,10	116	0,044	0,0076	

[4] Р 52.24.627-2007 Рекомендации. Усовершенствованные методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ. – Ростов н/Д., 2008. – 172 с

При сравнении расчетных значений коэффициента шероховатости с его табличными значениями, составленными на основании полевых описаний, выявляется их существенное отличие. Отклонения рассчитанных обратным путем через измеренную скорость потока значений от табличных достигают 50-70 и даже 90%.

Таким образом, применение табличных значений коэффициентов шероховатости могут приводить к существенным погрешностям в оценке речного стока и соответствующих уровней при решении водохозяйственных задач, проектировании инженерных дорожных сооружений и гидротехнических объектов.

Работоспособность рассмотренных зависимостей апробирована на материалах измерений гидрологических постов р. Полисть – Подтополье за 1954 г. и р. Гозовка – Гоза за 2014-2017 гг. и представлена в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2. Расчет коэффициента шероховатости по предложенным зависимостям для d = 0,001 м, для поста р. Полисть – Подтополье, 1954 год

Table 2. Calculated values of the roughness coefficient according to the proposed formulas for particles with d = 0.001 m, for gauging station on the river Polist' – near the settlement Podtopol'e for the period of 1954 year

дата	08.04	09.04	10.04	12.04	13.04	14.04	15.04	17.04	22.04	29.04	05.05
i	0,00013	0,00012	0,0001	0,00012	0,00012	0,0001	0,00013	0,0001	0,0001	0,000082	0,000043
B, м	41,3	40,4	40	39,2	38,9	38,2	37,8	37,9	38,7	38	39
H, м	2,05	1,93	1,79	1,48	1,39	1,36	1,34	1,3	1,32	1,21	1,31
R, м	1,86	1,76	1,64	1,38	1,30	1,27	1,25	1,22	1,24	1,14	1,23
V, м/с	0,55	0,53	0,51	0,42	0,44	0,41	0,39	0,38	0,37	0,31	0,32
C	35,1	36,7	39,8	32,7	35,3	36,4	30,2	34,8	32,8	32,2	43,4
n (1)	0,033	0,031	0,028	0,033	0,030	0,029	0,035	0,030	0,032	0,032	0,024
n (10)	0,033	0,032	0,029	0,034	0,031	0,030	0,036	0,031	0,033	0,033	0,025
n (3б)	0,013	0,013	0,012	0,013	0,013	0,012	0,013	0,012	0,012	0,012	0,010
n (3г)	0,020	0,020	0,019	0,020	0,020	0,019	0,020	0,019	0,019	0,018	0,016
n (7)	0,028	0,028	0,027	0,028	0,028	0,027	0,028	0,027	0,027	0,026	0,023
n (8)	0,042	0,041	0,038	0,031	0,029	0,029	0,029	0,028	0,028	0,025	0,027

Аналогичные расчетные значения шероховатостей по зависимостям от крупности русловых отложений (при условии размера частиц в 1 мм) получены для створа р. Полисть – Подтополье.

По Штриклеру (4а) $n = 0{,}15d^{1/6}/\sqrt{g} = 0{,}015$.

По Чангу (4б) $n = d^{1/6}/19{,}231 = 0{,}016$.

По В.М. Маккавееву и А.В. Караушеву (4в) $n = d^{1/6}/10{,}753 = 0{,}029$.

По М.А. Мосткову (4г) $n = d^{1/6}/20{,}408 = 0{,}015$.

По Р 52.24.627-2001[5] (4д) $n = d^{1/6}/33{,}333 = 0{,}01$.

По М. Пирковскому (5) $n = 0{,}025 + 0{,}1d = 0{,}025$.

Зависимости (4е)-(4к) практически не применимы, поскольку отношение *h/d* для больших, средних и большинства малых рек всегда >1000.

Таблица 3. Расчет коэффициентов шероховатости для *d* = 0,0026 м для поста Гозовка – Гоза
Table 3. Calculation of roughness coefficients for particles with d = 0.0026 m for the gauging station on the river Gozovka – near the settlement Goza

t воды, ^{0}C	Дата измерения	Уровень воды над нулем графика, см	Расход воды, м^3/с	Средняя скорость течения, м/с	Средняя глубина, м	n (15)	n (18)	n (14)
15,5	07.06.2017	45	0,151	0,17	0,14	0,047	0,051	0,048
15,8	10.06.2017	47	0,182	0,18	0,16	0,036	0,038	0,036
6,5	28.03.2015	49	0,253	0,20	0,19	0,040	0,039	0,041
14,1	24.05.2015	49	0,274	0,22	0,20	0,047	0,051	0,048
12,6	02.10.2016	50	0,252	0,18	0,20	0,051	0,050	0,052
2,4	22.03.2015	51	0,246	0,18	0,21	0,058	0,050	0,059
4,1	25.03.2015	51	0,279	0,21	0,20	0,050	0,048	0,052
3,9	13.12.2015	51	0,277	0,21	0,20	0,035	0,034	0,036
12,1	30.09.2016	52	0,306	0,19	0,22	0,056	0,055	0,057
3,7	05.11.2014	55	0,237	0,15	0,24	0,074	0,058	0,076
4,0	15.12.2015	55	0,336	0,22	0,22	0,034	0,033	0,035
2,9	27.11.2017	56	0,385	0,24	0,24	0,045	0,044	0,047
8,4	10.04.2017	57	0,436	0,24	0,26	0,054	0,055	0,055
7,7	13.04.2017	57	0,427	0,24	0,25	0,050	0,051	0,052
2,2	30.11.2017	58	0,453	0,26	0,26	0,039	0,038	0,040

[5] Там же

Выводы

1. Величина потерь напора на трение в явном виде зависит только от глубины потока и уклона свободной поверхности. В неявном виде влияние сопротивления русла учитывается в изменении уклона свободной поверхности.

2. Коэффициент шероховатости для прямолинейного участка русла пропорционален глубине в степени 2/3 и уклону в степени 1/2 и обратно пропорционален средней скорости течения.

3. Результаты расчетов, полученных по зависимостям (10) и (12), выведенных на основании физических соображений, наилучшим образом соответствуют значениям коэффициентов шероховатости, полученных обратным путем из формулы Шези.

4. Ошибка табличной оценки коэффициента шероховатости только для русла может составлять 100 и более процентов.

5. Все зависимости, учитывающие только крупность русловых отложений, принципиально не могут иметь практического применения, так как при одних и тех же расходах воды изменение величины коэффициента шероховатости может достигать десятков процентов. При различном же наполнении русла коэффициент шероховатости может измениться в несколько раз.

6. При одном и том же уровне воды даже для условий открытого русла без растительности, коэффициент шероховатости может отличаться в разы, что сводит к нулю все попытки в его теоретической оценки при отсутствии прямых измерений уклона, скорости и средней глубины.

Литература	References
Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел: учебное пособие. СПб.: изд. РГГМУ, 2003. 147 с.	Baryshnikov N.B. *Gidravlicheskie soprotivleniya rechnykh rusel: Uchebnoe posobie [Hydraulic resistance of river channels].* Saint-Petersburg, Publ. of the Russian State Hydrometeorological University, 2003. 147 p. (In Russian)
Барышников Н.Б., Плоткина Н.П., Рублевская Р.М. Коэффициенты шероховатости речных русел // Динамика русловых	Baryshnikov N.B., Plotkina N.P., Rublevskaya R.M. Koeffitsienty sherokhovatosti rechnykh rusel [Roughness coefficients of river beds] In Baryshnikov N.B. et al. (eds.) *Dinamika ruslovykh potokov i okhrana prirodnykh vod. Sbornik*

потоков и охрана природных вод. Сборник научных трудов (межвузовский). Вып. 107 / Под ред. Н.Б. Барышникова и др. Л.: изд. ЛГМИ, 1990. С. 4-11.

Виноградов А.Ю., Кацадзе В.А., Угрюмов С.А., Бирман А.Р., Беленький Ю.И., Кадацкая М.М., Обязов В.А., Виноградова Т.А. Взаимодействие руслового потока с дном в пограничном слое // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019а. №. 12. С. 38-43. DOI: 10.31044/1994-6260-2019-0-12-38-43

Виноградов А.Ю., Минаев А.Н., Кадацкая М.М., Кучмин А.В., Хвалев С.В. Расчет значений параметров И.И. Никурадзе и Т. Кармана в зависимости от температуры воды и крупности донных отложений // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019б. Вып. 229. С. 196-204. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.229.196-204

Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 428 с.

nauchnykh trudov (mezhvuzovskii) [Dynamics of channel flows and protection of natural waters. Collection of scientific papers (interuniversity)]. Iss. 107. Leningrad, Publ. of the Leningrad Hydrometeorological Institute, 1990, pp. 4-11. (In Russian)

Grishanin K.V. *Dinamika ruslovykh potokov [The dynamics of channel flows]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1969. 428 p. (In Russian).

Kosichenko Yu.M. Vliyanie ekspluatatsionnykh faktorov na propusknuyu sposobnost' zemlyanykh rusel kanalov [Influence of operational factors on ground channels capacity]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems]*, 2011, no. 3(03), pp. 55-68. (In Russian; abstract in English)

Mamedov A.Sh. Ob opredelenii koeffitsienta sherokhovatosti rek [On determination of the river roughness coefficient]. *Trudy Sed'mogo Vserossiiskogo gidrologicheskogo s"ezda (Sankt-Peterburg, 19-20 noyabrya 2013 g.) [Proceedings of the Seventh All-Russian Hydrological Congress (St. Petersburg, November 19-20, 2013)]*. Available at: https://clck.ru/LfhCf (In Russian).

Snishchenko B.F. K.V. Grishanin i uchenie o dinamike ruslovykh potokov [K.V. Grishanin and his doctrine on dynamics of streams flow]. *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsii [The journal of university of water communications]*, 2010, iss. 2 (6), pp. 10-18. (In Russian; abstract in English).

Triandafilov A.F, Efimova S.G. *Gidravlika i gidravlicheskie mashiny: uchebnoe posobie [Hydraulics*

Железняков Г.В. Пропускная способность русел и каналов рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 308 с.

Косиченко Ю.М. Влияние эксплуатационных факторов на пропускную способность земляных русел каналов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 3(03). С. 55-68.

Мамедов А.Ш. Об определении коэффициента шероховатости рек [Электронный ресурс] // Труды VII Всероссийского гидрологического съезда (г. Санкт-Петербург, 19-20 ноября 2013 г.). URL: https://clck.ru/LfhCf (дата обращения: 26.05.2019).

Снищенко Б.Ф. К.В. Гришанин и учение о динамике русловых потоков // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. Вып. 2 (6). С. 10-18.

Триандафилов А.Ф, Ефимова С.Г. Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие. Сыктывкар: изд. СЛИ, 2012. 212 с.

and hydraulic machines: a training manual]. Syktyvkar, Publ. of the Syktyvkar Forest Institute, 2012. 212 p.

Vinogradov A.Yu., Katsadze V.A., Ugryumov S.A., Birman A.R., Belen'kii Yu.I., Kadatskaya M.M., Obyazov V.A., Vinogradova T.A. Vzaimodeistvie ruslovogo potoka i dna v pogranichnom sloe [Interaction of streamflow and bottom in boundary layer] // *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik [Vse Materialy. Entsiklopedicheskii Spravochnik]*. Moscow, Publ. House "Nauka & Technology", 2019a, no. 12, pp. 38-43. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.31044/1994-6260-2019-0-12-38-43

Vinogradov A.Yu., Minaev A.N., Kadatskaya M.M., Kuchmin A.V., Hvalev S.V. Raschet znachenii parametrov I.I. Nikuradze i T. Karmana v zavisimosti ot temperatury vody i krupnosti donnykh otlozhenii [Calculation of constant J. Nikuradze and T. von Karman depending on water temperature and the size of bottom sediments] *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii [Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii]*, 2019b, is. 228, pp. 196-204. (In Russian; summary in English). DOI: 10.21266/2079-4304.2019.229.196-204

Zheleznyakov G.V. *Propusknaya sposobnost' rusel i kanalov rek* [*Disharge capacity of channels and river beds*]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1981. 308 p. (In Russian; abstract in English)

УДК 556.53 DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.477

О ВЛИЯНИИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ПОДЗЕМНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ РЕЧНОГО СТОКА

М.Л. Марков, Е.В. Гуревич

Государственный гидрологический институт, г. Санкт–Петербург, Россия

2014mml@gmail.com

Аннотация. Речная сеть является основной дреной подземных вод территорий. Она создается в течение длительного периода и определяется геологическими, климатическими и орографическими условиями. Дренирующая способность гидрографической сети зависит не только от ее густоты, но и от скорости стекание по ней вод. Последняя определяется площадью живого сечения, уклоном, шероховатостью русла. В статье показано, что речной лед северных рек, как сезонное гидравлическое сопротивление, также может оказывать существенное влияние на дренирующую способность гидрографической сети. На примере стока рек в теплые и холодные зимы показано, что ледяной покров регулирует участие подземных вод разных уровней дренирования в формировании речного стока. С потеплением климата регулирующая роль ледяного покрова снижается. Возрастает скорость сработки подземных вод верхних участков речных бассейнов, сопровождаемая увеличением водности в

ON THE INFLUENCE OF ICE COVER ON THE UNDERGROUND COMPONENT OF RIVER FLOW

Mikhail L. Markov, Elena V. Gurevich

State hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

2014mml@gmail.com

Abstract. The river network is the main drainage of underground waters of the territories. It is created over a long period and is determined by geological, climatic and orographic conditions. The draining capacity of a hydrographic network depends not only on its density, but also on the speed of water flowing down it. The latter is determined by the area of the living section, slope, roughness of the riverbed. The article shows that the river ice of the Northern rivers, as a seasonal hydraulic resistance, can also have a significant impact on the drainage capacity of the hydrographic network. On the example of river flow in warm and cold winters, it is shown that the ice cover regulates the participation of groundwater at different levels of drainage in the formation of river flow. As the climate warms, the regulatory role of the ice cover decreases. The rate of underground water treatment in the upper sections of river basins increases, accompanied by an

нижних звеньях гидрографической сети. За последние 30-40 лет вклад подземных вод приводораздельной части речных бассейнов в питание рек лесной зоны в межень снизился на 20% по сравнению с предшествующим «квазистационарным» климатическим периодом. Происходит «подсушка» верховьев речных бассейнов, несмотря на рост годовых осадков. В перспективе, при сохранение современных тенденций изменения климата, возможно дальнейшее снижение подземного питания рек, так как дренирующая роль гидрографической сети возрастет. Уменьшение запасов подземных вод в речных бассейнах приведет к снижению их регулирующей роли в речном стоке и может возрасти частота наступления экстремально низкой водности. Это необходимо учитывать при разработке адаптивных мероприятий водного хозяйства к изменению климата.

Ключевые слова: ледяной покров; речной сток; подземное питание рек; звенья гидрографической сети; изменение климата; подтопление территорий.

increase in water content in the lower parts of the hydrographic network. Over the past 30-40 years, the contribution of groundwater in the watershed of the river basins to the supply of rivers in the forest zone in mezhen decreased by 20% compared to the previous "quasi-stationary" climate period. There is a "drying" of the upper reaches of river basins, despite the growth of annual precipitation. In the future, if the current trends of climate change continue, it is possible to further reduce the underground supply of rivers, as the drainage role of the hydrographic network will increase. The reduction of groundwater reserves in river basins will reduce their regulatory role in river flow and may increase the frequency of occurrence of extremely low water content. This should be taken into account when developing adaptive water management measures to climate change.

Keywords: ice cover; river runoff; underground river feeding; hydrographic network links; climate change; flooding of territories.

Введение

Дренирующая способность гидрографической сети подземных вод зависит не только от эрозионного вреза русел, но и от ее густоты и скорости стекание воды. Расход воды определяется следующими параметрами русла и поймы: площадь живого сечения, уклон, шероховатость. Гидравлические характеристики водных потоков в руслах могут изменяться как в связи с естественными процессами (изменение водности, зарастание, ледовые явления, русловые деформации), так и из-за хозяйственной деятельности (углубление дна, песчано-гравийные карьеры, гидротехническое строительство и так далее). Многочисленные

Markov M.L., Gurevich E.V. On the influence of ice cover on the underground component of river flow. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 4, pp. 477-489 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.477

опубликованные в гидрологии работы, в основном, касаются оценки влияния зарастания речных русел и ледовых явлений на расчеты стока с использованием кривой связи расходов воды с уровнями, изменения гидродинамики потоков при заторных и зажорных явлениях, русловых деформациях (искусственных и природных), наледного регулирования стока рек криолитозоны, например [Наставление ..., 1958; Алексеев 1987; Бузин, 2004] и др. Вместе с тем, до сих пор не выполнена оценка влияния ледяного покрова рек на формирование их водного режима и дренирующую способность речной сети. Ответ на этот вопрос является актуальным для большей части территории России, где зима длится 4-6 месяцев и более, а толщина льда на реках достигает 1-2 м [Донченко, 1987].

Цель настоящей статьи состоит в оценке влияния ледяного покрова на подземное питание рек. Исследования выполнены на основе данных гидрологических наблюдений на постах Росгидромета, расположенных в бассейнах рек Северная Двина, Плюсса, Алдан.

Методы и результаты исследования

В основе данной работы лежит представление о том, что зимний сток северных рек формируется исключительно за счет имеющихся предзимних запасов подземных вод в речном бассейне. С наступлением зимы, по мере установления низких отрицательных температур воздуха и интенсивного промерзания речного бассейна, при отсутствии жидких осадков происходит сокращение бассейновых запасов воды. Интенсивность и продолжительность спада зимних расходов воды зависят от температуры воздуха и развития процессов ледообразования, аккумулирующего часть зимнего речного стока как на водосборе, в зоне аэрации, так и в речных руслах [Кравченко, 1986; Марков, 2003; Гуревич, 2009].

Нарастание толщины льда вызывает стеснение живого сечения русла реки [Наставление …, 1958; Чижов, 1990], вследствие чего уменьшается ее пропускная способность и изменяется взаимосвязь поверхностных и подземных вод, существовавшая при открытом русле. В период больших потерь воды на ледообразование в начале зимы интенсивность снижения речного стока возрастает, а в бассейнах с малыми запасами подземных вод практически прекращается.

Известно, что большая часть годового стока рек в речных бассейнах, расположенных от лесной зоны до зоны тундр, формируется очень малыми реками длиной менее 10 км (70-80% протяженности гидрографической сети). При толщине льда 0,3-0,5 м эти малые реки могут перемерзнуть или их живое сечение существенно уменьшается. В северных районах России при отсутствии питания подземными водами малые реки перемерзают, а средние реки

могут пересохнуть. Если уменьшение притока подземных вод к реке и, соответственно, снижение речного стока зимой происходит с меньшей интенсивностью, чем снижение пропускной способности участка реки с интенсивным ледообразованием, то на малых реках (где лед жестко скреплен с берегами) может возникнуть напорный режим потока подо льдом. Реализация напора может выразиться либо в разрушении льда, выхода воды на его поверхность и формировании наледей, либо в снижении притока подземных вод в реку. На широких реках напор компенсируется за счет свободного поднятия ледяного покрова [Чижов, 1990].

Так как ледяной покров может оказывать заметное влияние на пропускную способность только малых рек, то исследование изменения стока при ледоставе выполнено раздельно для разных звеньев гидрографической сети. Расчет ординат гидрографов стока, сформированного в разных звеньях гидрографической сети, выполнен по методике, изложенной в работе [Марков, 2003]. Пример полученных результатов расчета показан на рисунке 1. По многолетним данным установлено, что в более холодные зимы при значительной толщине льда снижается суммарный расход воды в малых реках речных бассейнов. Так в бассейне р. Вага (бассейн р. Северной Двины) при изменении максимальной зимней толщины льда с 70 до 45 см суммарный вклад малых рек в сток больших увеличивается в 4-5 раз (при примерно равном предшествующем летне-осеннем увлажнении).

Для бассейна р. Алдан отклонение средней зимней температуры воздуха от средней многолетней на 2-3 градуса (при примерно равном предшествующем летне-осеннем увлажнении) приводит к отклонению среднего зимнего стока рек на 20-30% от среднего многолетнего (рисунок 2). На р. Северной Двине чем ниже температура воздуха зимой и больше толщина льда, тем быстрее происходит снижение стока в реке (рисунок 3). В менее суровые зимы наблюдается уменьшение толщины речного льда и сохранение в реке более высоких расходов воды к концу зимы. Увеличение толщины льда в бассейне р. Северной Двины всего на 10 см приводит к снижению стока по сравнению с теплыми зимами почти в 2 раза в конце зимы в малых ручьях.

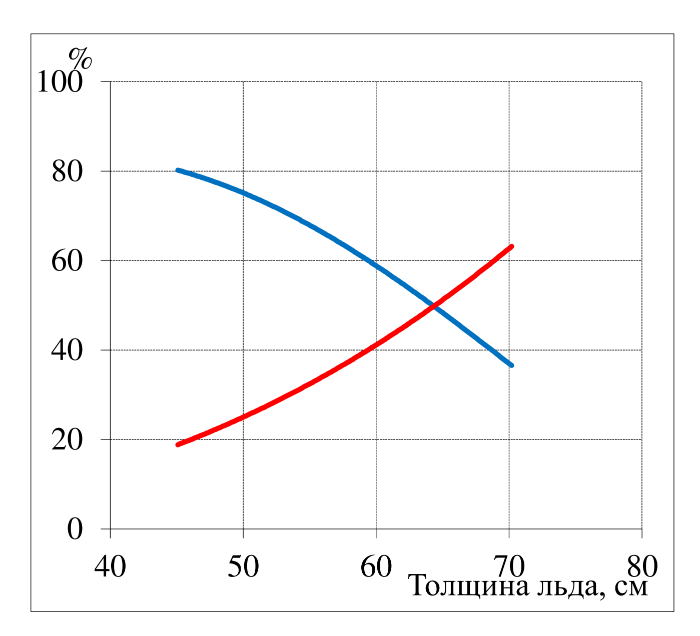


Рисунок 1. Вклад разных звеньев гидрографической сети в формировании зимнего стока реки Ваги (F=37000 км^2) в зависимости от средней толщины льда:

– реки длиной менее 25 км; – участки рек более 25 км от истока

Figure 1. The contribution of different parts of the hydrographic network in the formation of the winter flow of the Vaga river (F=37000 km ^{2}) depending on the average thickness of the ice:

– river with a length of less than 25 km;

– sections of rivers more than 25 km from the source



Рисунок 2. Связь отклонения объема зимнего стока рек от среднего многолетнего со средней зимней температурой воздуха (бассейн реки Алдан)

Figure 2. The relationship of the deflection amount of the winter flow of rivers from the middle years with an average winter air temperature (the basin of the Aldan river)

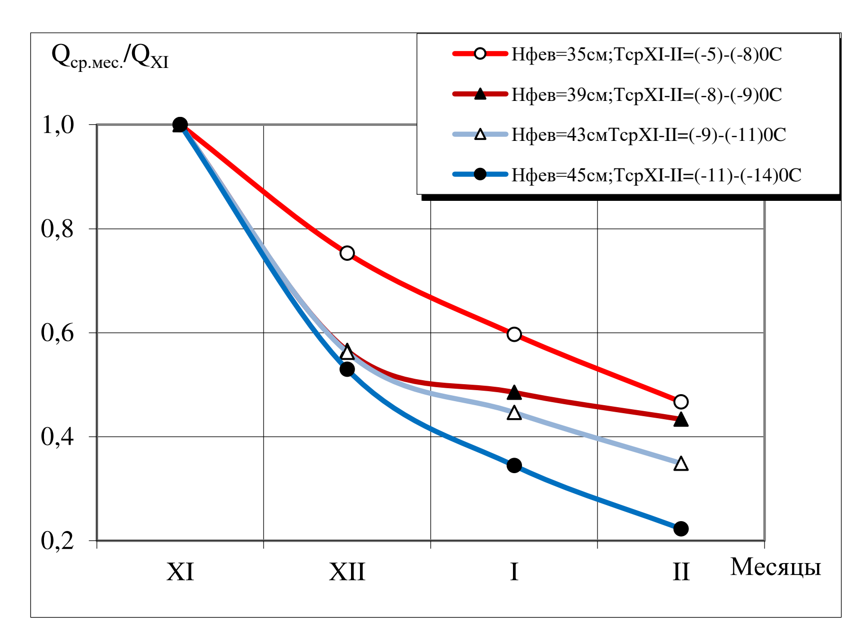


Рисунок 3. Гидрографы стока малых рек бассейна реки Северной Двины в зимы с разной толщиной льда в феврале ($H_{фев}$) и средней месячной температурой воздуха ($T_{ср\ XI\text{-}II}$) за ноябрь-февраль

Figure 3. Hydrographs of the flow of small rivers of the Northern Dvina river basin in winter with different ice thickness in February (H_{Feb}) and average monthly air temperature ($T_{average\ XI\text{-}II}$) for November-February

Еще один пример влияния «суровости» зимы на сток показан на примере сработки водных ресурсов озера (рисунок 4). Истечение воды из озера не зависит от ледовых условий в истоке вытекающей реки, так как там, как правило, лед не образуется. Но приток воды зимой в озеро существенно зависит от пропускной способности втекающих в него малых рек и ручьев. На приведенном рисунке хорошо видно, что в теплые зимы сработка воды в озере существенно ниже, чем в холодные при одинаковом предзимнем наполнении озера.

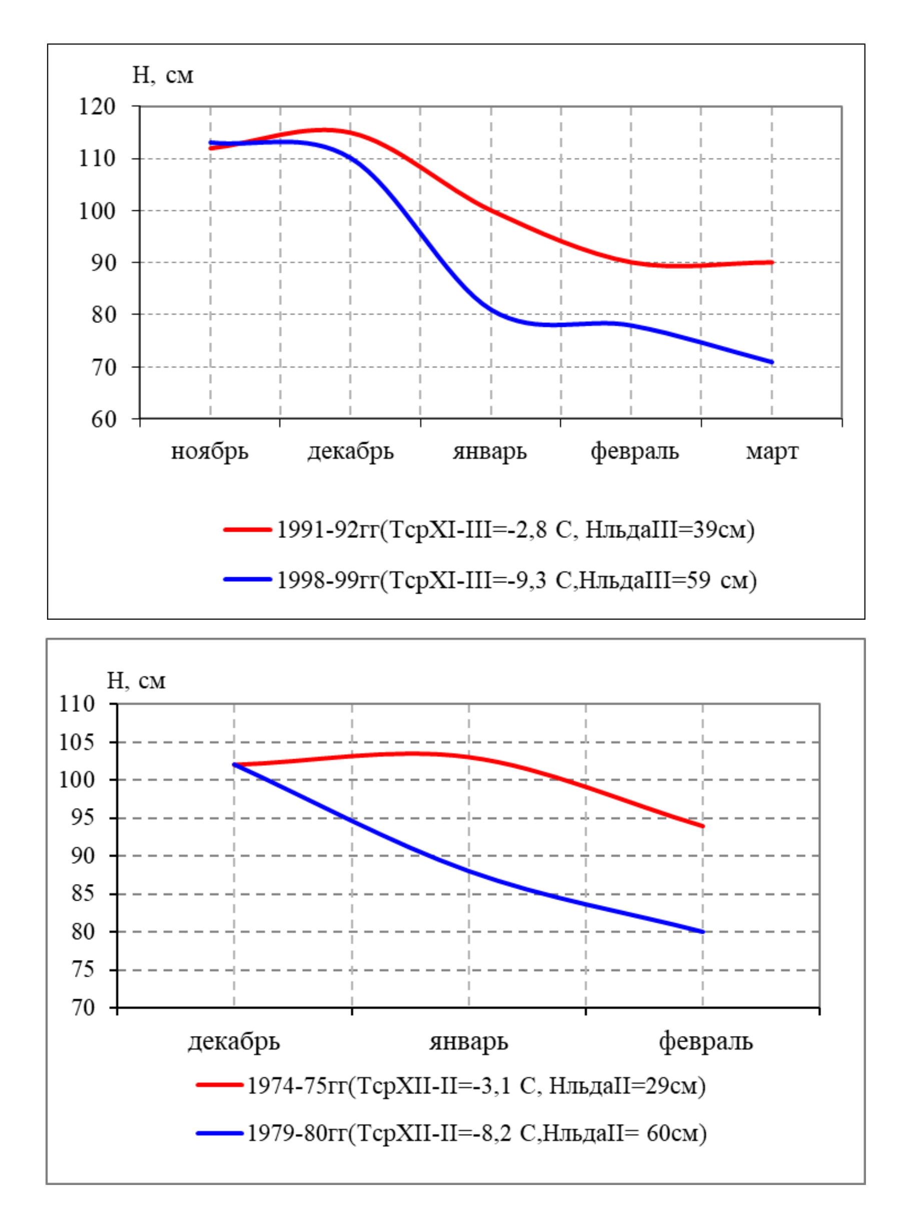
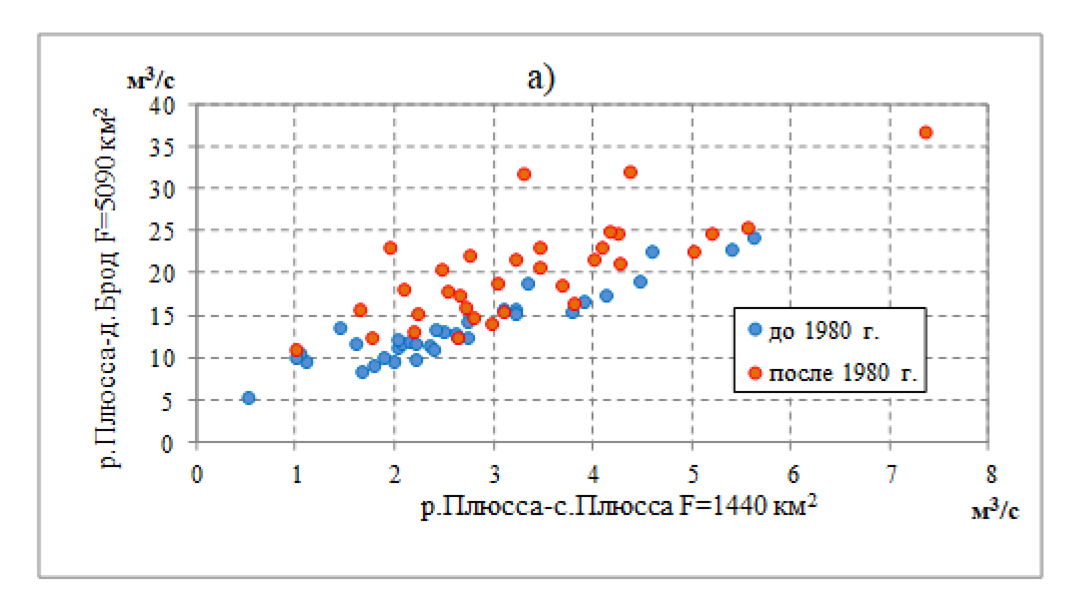


Рисунок 4. Снижение уровня воды (Н) в оз. Шугозеро в зимние месяцы при различных средних температурах воздуха за зимние месяцы ($T_{\text{сред. XI-III}}$) и толщине льда ($H_{\text{льдаII}}$)

Figure 4. Decrease in water level (H) in the lake. Shugozero in the winter months at different average air temperatures for the winter months ($T_{\text{average XI-III}}$) and ice thickness ($H_{\text{iceII}}$)

Увеличение в теплые зимы пропускной способности малых рек, их дренирующей способности постепенно привело к сработке запасов подземных вод в верхних звеньях гидрографической сети. Это иллюстрирует график на рисунке 5. В минимальном стоке нижнего створа р. Плюссы (д. Брод) сток, фиксируемый в верхнем створе (с. Плюсса), снизился почти на 20% в современных условиях, по сравнению с предшествующим «квазистационарным» климатическим периодом. То есть, происходит «подсушка» приводораздельной зоны. Следует отметить, что это происходит при тенденции роста годовых осадков в современных условиях [Шикломанов, Георгиевский, 2002].



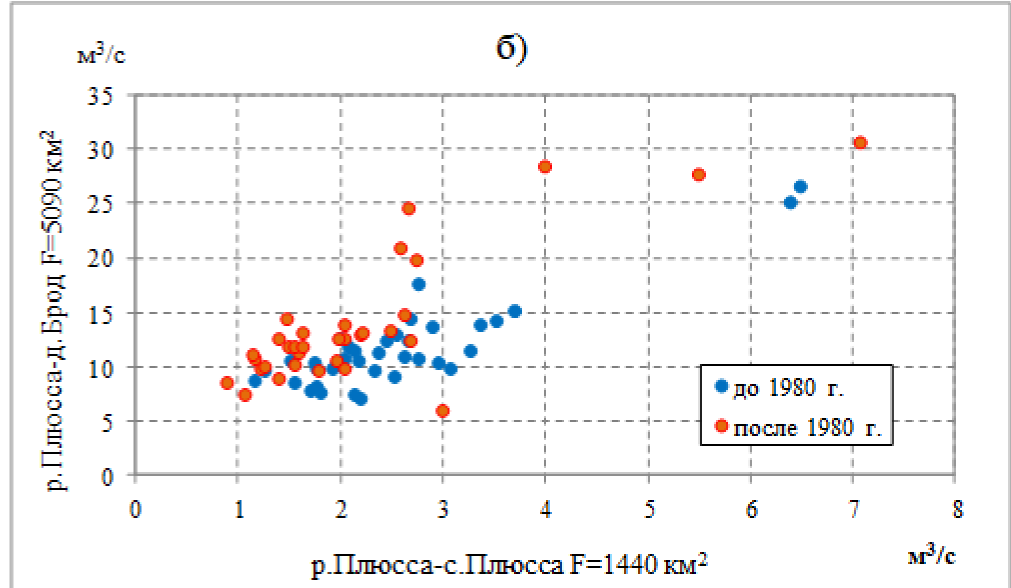


Рисунок 5. Соотношение минимального 30-ти суточного зимнего (а) и летнего (б) стока между двумя гидрометрическими створами на р. Плюссе.

Figure 5. The ratio of the minimum 30-day winter (a) and summer (b) runoff between the two hydrometric channels on the Pluss river.

При поступлении значительного количества воды в теплые зимы из верхних звеньев гидрографической сети уровень воды в нижних становится выше (рисунок 6), и уменьшаются уклон подземных вод, дренируемых рекой, и их вклад в формирование зимнего стока в нижних звеньях гидрографической сети.

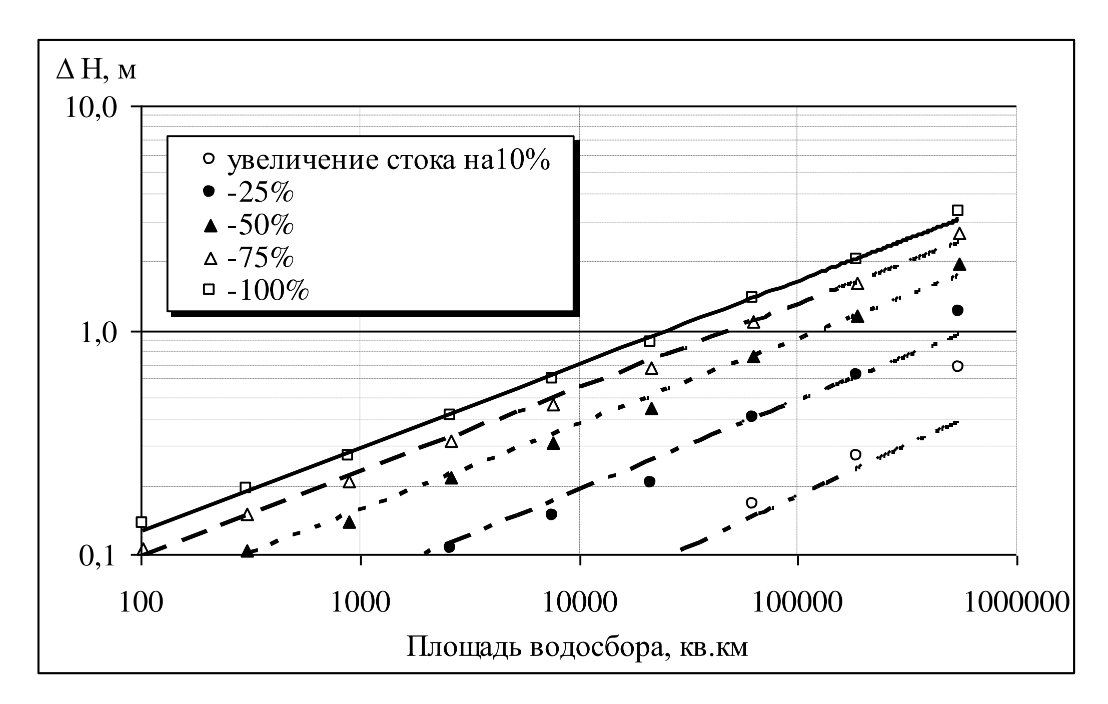


Рисунок 6. Связь увеличения отметок базиса дренирования подземных вод (ΔH) с площадью водосбора равнинных рек при различных приращениях меженного расхода воды (% от среднего многолетнего)

Figure 6. Connection of increase of marks of a basis of drainage of underground waters (ΔH) with the area catchment of lowland rivers at different increments of water flow (% of average perennial)

В результате описанного явления существенное увеличение речного стока компенсируется в теплые зимы в верхних звеньях снижением притока подземных вод в нижних (рисунок 1). В холодные зимы питание рек происходит преимущественно за счет притока подземных вод в нижние звенья гидрографической сети. Таким образом, ледяной покров рек при толщине, соизмеримой с глубиной водотоков, регулирует водообмен гидрографической сети с подземными водоносными горизонтами. Следствием этого регулирования является снижение вариации зимнего стока в нижних звеньях речной сети. Так для малых северных и сибирских рек коэффициент вариации зимнего минимального 30-ти суточного стока превышает 0,5, а для больших рек – колеблется в пределах 0,1-0,2, несмотря на значительную многолетнюю изменчивость метеорологических условий и толщины льда в зимний период.

Сезонное изменение пропускной способности русел рек приводит к изменению условий дренирования подземных вод в разных частях водосборов. Соответственно, это сказывается и на режиме уровня подземных вод. В теплые зимы уровень грунтовых вод,

дренируемых малыми реками, снижается быстрее, а у больших рек, наоборот интенсивность истощения подземных вод уменьшается.

В последние два десятилетия на территории России установились более теплые зимы. Это привело к увеличению зимнего стока рек лесной зоны на 30% и более [Шикломанов, Георгиевский, 2002]. Результаты приведенных выше исследований показывают, что значительную роль в этом сыграло уменьшение толщины льда и увеличение в зимнем стоке рек вклада верхних звеньев гидрографической сети, дренирующих подземные воды, которые ранее меньше срабатывались в холодные зимы. Следствием этого является уменьшение дренирующей способности (из-за повышения базиса дренирования – рисунок 6) в нижних звеньях гидрографической сети. В результате этого в меженные периоды теплых зим снижается разгрузка подземных вод в нижние звенья рек, происходит постепенный рост средних годовых уровней грунтовых вод и подтопление прибрежных территорий [Разумов, Разумова, Молчанов, 2015]. Вместе с тем, так как максимальная толщина ледяного покрова имеет устойчивую тенденцию к уменьшению [Kuusisto, Elo, 2000; Prowse et al., 2007], то, вероятно, следует ожидать, что постепенно в будущем в речных бассейнах будет преобладать снижение запасов подземных вод из-за увеличения их разгрузки при потепление климата.

Заключение

Увеличение дренирующей способности верхних звеньев гидрографической сети может привести в районах, где ежегодно зимы стали теплее, к более интенсивной сработке подземных вод и постепенному снижению уровня грунтовых вод в приводораздельной зоне речных бассейнов, уменьшению питания малых рек, родников и созданию условия для «почвенной засухи» летом. Это приводит к высыханию лесов (уже наблюдается в больших масштабах в Архангельской и Вологодской областях), к исчезновению малых водотоков, обмелению приводораздельных озер, увеличению пожароопасности болот, истощению подземных источников водоснабжения.

Следует отметить, что на формирование зимнего стока оказывают влияние и другие криогенные явления и процессы, происходящие на водосборах рек (например, миграция незамерзшей влаги в зоне аэрации к фронту промерзания и низкое давление воздуха над грунтовыми водами при снижении воздухопропускной способности мерзлого слоя почвогрунтов). Эти явления играют более заметную роль в районах, где зима неустойчива, лед имеет малую толщину, а промерзание почвогрунтов наблюдается не каждый год.

Анализ зимнего водного и ледового режима рек России привел пока к предварительному выводу, что наибольшее влияние льда на речной сток проявляется в районах, где устойчивая зима длится 3-4 месяца. Поэтому в оценках возможных изменений водного режима северных рек при сохранении современных тенденций изменений климата целесообразно учитывать это явление, чрезвычайно чувствительное к зимнему температурному режиму.

Литература

Алексеев В.Р. Наледи. Новосибирск: Наука, 1987. 158 с.

Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. 202 с.

Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан) // Метеорология и гидрология. 2009. № 9. С. 92-99.

Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 246 с.

Кравченко В.В. Роль наледей в формировании зимнего речного стока и ледяного покрова рек западной части зоны БАМа // Труды Государственного гидрологического института. 1986. Вып. 312. С. 34-84.

Марков М.Л. Пространственно-временная динамика взаимосвязи

References

Alekseev V.R. *Naledi [Frazil]*. Novosibirsk, Publ. Nauka, 1987. 158 p. (In Russian).

Buzin V.A. *Zatory l'da i zatornye navodneniya na rekakh [Ice jams and mash floods on rivers]*. St. Petersburg, Publ. Gidrometeoizdat, 2004. 202 p. (In Russian).

Chizhov A.N. *Formirovanie ledyanogo pokrova i prostranstvennoe raspredelenie ego tolshchiny [Ice pack formation and space distribution of the ice pack depth]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1990. 125 p. (In Russian; abstract in English).

Donchenko R.V. *Ledovyi rezhim rek SSSR [Ice regime of the USSR rivers]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1987. 246 p. (In Russian; abstract in English).

Gurevich E.V. Influence of air temperature on the river runoff in winter (the Aldan river catchment case study). *Russian Meteorology and Hydrology*, 2009, vol. 34, iss. 9, pp. 628-633. (Russ ed.: Gurevich E.V. Vliyanie temperatury vozdukha na zimnii stok rek (na primere basseina r. Aldan). *Meteorologija i gidrologija,* 2009, no. 9, pp. 92-99). DOI: 10.3103/S1068373909090088

Kravchenko V.V. Rol' naledei v formirovanii zimnego rechnogo stoka i ledyanogo pokrova rek zapadnoi chasti zony BAMa [The role of icing in the formation of winter river

поверхностных и подземных вод // Сборник работ по гидрологии. 2002. №25. С. 90-104.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Гидрологические наблюдения и работы на речных станциях и постах. Часть III. Составление и подготовка к печати гидрологического ежегодника. Л.: Гидрометеоиздат, 1958. 292 с.

Разумов В.В., Разумова Н.В., Молчанов Э.Н. Подтопление земель в Сибирском регионе России // Геориск. 2015. № 4. С. 22-35.

Чижов А.Н. Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 125 с.

Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // Изменения климата и их последствия: Материалы специальной сессии Ученого совета Центра международного сотрудничества по проблемам окружающей среды, посвященной 80-летию акад. М.И. Будыко (19-20 мая 1999 г.). / Отв. ред.

runoff and ice cover of rivers in the western part of the BAM zone]. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo institute [Transactions of the State Hydrological Institute]*. 1986, vol. 312, pp. 34-84. (In Russian).

Kuusisto E., Elo A.-R. Lake and river ice variables as climate indicators in Northern Europe. *SIL Proceedings, 1922-2010,* 2000, vol. 27, iss. 5, pp. 2761-2764. DOI: 10.1080/03680770.1998.11898168

Markov M.L. Prostranstvenno-vremennaya dinamika vzaimosvyazi poverkhnostnykh i podzemnykh vod [Spatial-temporal dynamics of the relationship of surface and groundwater]. *Sbornik rabot po gidrologii [Collection of works on hydrology],* 2002, No 25, pp. 90-104. (In Russian).

Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Vypusk 6. Gidrologicheskie nablyudeniya i raboty na rechnykh stantsiyakh i postakh. Chast' tret'ya. Sostavlenie i podgotovka k pechati gidrologicheskogo ezhegodnika [Manual to hydrometeorological stations and posts. Issue 6. Hydrological observations and work at river stations and posts. Part three. Compilation and preparation for printing of the hydrological yearbook]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1958. 292 p. (In Russian).

Prowse T.D., Bonsal B.R., Duguay C.R, Lacroix M.P. River-ice break-up/freeze-up: a review of climatic drivers, historical trends and future predictions. *Annals of Glaciology*, 2007, vol. 46, pp. 443-451. DOI: 10.3189/172756407782871431

Razumov V.V., Razumova N.V., Molchanov E.N. Podtoplenie zemel' v Sibirskom regione Rossii [Flooding of

Г.В. Менжулин. СПб.: Наука, 2002. С. 152-164.

Kuusisto E., Elo A.-R. Lake and river ice variables as climate indicators in Northern Europe. SIL Proceedings, 1922-2010. 2000. Vol. 27. Iss. 5. P. 2761-2764. DOI: 10.1080/03680770.1998.11898168

Prowse T.D., Bonsal B.R., Duguay C.R, Lacroix M.P. River-ice break-up/freeze-up: a review of climatic drivers, historical trends and future predictions. Annals of Glaciology. 2007. Vol. 46. P. 443-451. DOI: 10.3189/172756407782871431

lands in the Siberian Region of Russia]. *Georisk [Georisk]*, 2015, no. 4, pp. 22-35. (In Russian; abstract in English).

Shiklomanov I.A., Georgievskii V.Yu. Vliyanie antropogennykh izmenenii klimata na gidrologicheskii rezhim i vodnye resursy [The impact of anthropogenic climate change on the hydrological regime and water resources]. In Menzhulin G.V. (ed.) *Izmeneniya klimata i ikh posledstviya: Materialy spetsial'noi sessii Uchenogo soveta Tsentra mezhdunarodnogo sotrudnichestva po problemam okruzhayushchei sredy, posvyashchennoi 80-letiyu akad. M.I. Budyko (19-20 maya 1999 g.). [Climate change and their consequences: Materials of a special session of the Scientific Council of the Center for International Cooperation on Environmental Issues, dedicated to the 80th anniversary of Acad. M.I. Budyko (May 19-20, 1999)]*. St. Petersburg, Nauka, 2002, pp. 152-164. (In Russian).

МОНИТОРИНГОВЫЕ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

MONITORING, EXPERIMENTAL AND EXPEDITIONARY RESEARCH

УДК 624.131.544: 551.311.2: 627.141.1 DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.490

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СЕЛЕЙ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ

Н.А. Казаков, Д.А. Боброва,
Е.Н. Казакова, С.В. Рыбальченко

ФГБУН Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия;
НИЦ «Геодинамика», г. Южно-Сахалинск, Россия

cdsmd@yandex.ru

THE STUDY OF THE DEBRIS-FLOWS DYNAMICS ON AN EXPERIMENTAL STAND

Nikolay A. Kazakov, Darya A. Bobrova,
Ekaterina N. Kazakova,
Svetlana V. Rybal'chenko

Special Research Bureau for Automation of Marine Researches of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
Research Center «Geodinamics», Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

cdsmd@yandex.ru

Аннотация. Разработан и изготовлен стенд для исследования динамических характеристик селей и физического моделирования селей. Стенд представляет собой прямоугольный в поперечном сечении лоток длиной 3,0 м, шириной 0,25 м, глубиной 0,25 м. Уклоны лотка изменяются от 10° до 45°. Выше лотка устанавливается ёмкость, заполняемая водой или приготовленной селевой смесью. Для наблюдения за внутренней структурой селевого потока обе стенки селевого лотка выпол-

Abstract. Designed and manufactured a test stand for the dynamic characteristics of debris-flows and for physical modelling of debris-flows. The stand is a rectangular cross-section tray with a length of 3.0 m, a width of 0.25 m, a depth of 0.25 m. The slopes of the tray vary from 10° to 45°. Rods are installed in the tray to accommodate load cells for measuring pressure, speed and temperature. The process of moving the debris-flow

Kazakov N.A., Bobrova D.A., Kazakova E.N., Rybal'chenko S.V. The study of the debris-flows dynamics on an experimental stand. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 4, pp. 490-503 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.490

нены прозрачными. В лотке могут быть установлены металлические штанги для размещения тензодатчиков для измерения давления, скорости и температуры. Процесс движения селя через прозрачную стенку селевого лотка снимается скоростной видеокамерой. В ноябре 2019 г. был проведён эксперимент по измерению скорости селя. Измерялись скорость и скоростной напор водного потока и искусственного грязекаменного селя. Лоток был установлен с уклоном 12°. По лотку был пущен водный поток (для измерения скорости потока и величины скоростного напора, которые затем использовались как эталонные значения). Затем по лотку был пущен поток из подготовленной селевой смеси. Селевая смесь была приготовлена из дресвяно-щебенистого элювиально-делювиального грунта возрастом Q_{IV} с суглинистым заполнителем (лёгкий и средний суглинок, до 30%) плотностью в естественном залегании 2210 кг/м^3. Плотность суглинка – 1910 кг/м^3. Дресва и щебень представлены алевролитом средней прочности плотностью 2210 кг/м^3. Измеренная по методу Стокса динамическая вязкость селевой массы составила 0,0498 Пуаз. Рассчитанная кинематическая вязкость селевой массы составила 0,0928 Стокс. Поскольку данных о скорости селей, измеренных непосредственно во время его движения, недостаточно, особую важность приобретают методы расчёта скорости селя по его следам, определённые при полевых исследованиях после схода селя. Одной из таких методик является методика

through the transparent wall of the debris-flow tray is filmed by a high-speed video camera. During the experiment, the velocity and high- velocity pressure of water flow and artificial debris-flow were measured. The tray was installed with a slope of 12°. Water flow was started up on the tray (to measure the flow rate and the value of the velocity head, which were then used as reference values). Then the tray was put into the flow of the prepared debris-flow mixture. The debris-flow mixture was prepared from a dredged-crushed proluvial-deluvial deposits of Holocene age with a loamy aggregate with a density of 2210 kg/m^3. The density of the prepared debris-flow mixture was 1756 kg/m^3. Dynamic viscosity of the debris-flow mass measured by the Stokes method was 0.0498 Poise, kinematic viscosity of the debris-flow mass was 0.0928 Stokes. Data on the debris-flow velocity measured directly during its movement of the debris-flow is not enough. Therefore, methods for calculating the speed of a debris-flow slide in its are important. One of these methods is the method of calculating the debris-flow velocity by the magnitude of the speed head (on the traces of the debris-flow on the trunks of trees). That method is based

определения скорости селя по величине скоростного напора: по следам селя (обмазкам) на стволах деревьев и т.д. Эта методика основана на формуле Э. Торричелли. Результаты эксперимента показали: скорость грязекаменного селя, рассчитанная по величине скоростного напора, оказалась ниже измеренной скорости до препятствия и выше измеренной скорости после препятствия. Измеренная скорость прохождения селем всего лотка оказалась близка к рассчитанной.

Ключевые слова: потенциальный селевой массив; связный сель; селевой процесс; скорость селя; селевой лоток; селевые отложения; гидродинамический напор.

on the formula of E. Torricelli. The results of the experiment showed that the measured debris-flow velocity, calculated from the magnitude of the velocity head, was lower than the measured velocity before the obstacle and higher than the measured velocity after the obstacle. The measured velocity of the debris-flow passage of the entire tray was close to the calculated one.

Keywords: coherent debris-flow; debris-flow; debris-flow process; debris-flow velocity; debris-flow tray; debris-flow deposits; a hydrodynamic pressure.

Введение

Один из важнейших вопросов, возникающих при исследовании и моделировании селевых процессов (как при научных исследованиях, так и при проектно-изыскательских работах) – это вопрос о скорости селя, поскольку большинство динамических характеристик селя так или иначе зависят от его скорости. Данных прямых измерений скорости селя, полученных непосредственно во время его движения, недостаточно. Прямое измерение этой характеристики селя связано со многими трудностями, главная из которых заключается в том, что специалисты-селевики не часто могут наблюдать сель во время его движения.

Скорости селей, рассчитанные по результатам полевых исследований, проведённых сразу же после схода селя, не позволяют получить достоверных значений, поскольку расчётные методики базируются в большинстве своём на математических моделях, изобилующих эмпирическими коэффициентами.

По этим причинам результаты расчёта скорости селя на разных участках селевого русла, выполненные по разным методикам, показывают сильный разброс значений, что связано с несовершенством физических и математических моделей селя [Казаков и др., 2015].

Наиболее близкие к реальным расчетные значения скоростей селя были получены по измеренной величине скоростного напора, однако и в этом случае остаётся нерешённым вопрос о физической сущности входящих в методику расчёта эмпирических коэффициентов.

Не решён вопрос о зависимости скорости селя от плотности и вязкости селевой массы.

Также нерешённым остаётся вопрос о закономерностях формирования селевых отложений и, соответственно, о зависимости их структуры и стратификации от скорости селя, плотности и вязкости селевой массы.

Ответы на эти вопросы можно получить лишь при использовании большого объёма натурных наблюдений за селями и измерениях их скорости во время движения.

Эксперименты на натурных полигонах (таких как эксперименты на Чемолганском врезе [Виноградов, 1976; Виноградов, 1980; Степанов, Степанова, 1991; Vinogradova, Vinogradov, 2017]) позволяют получить исключительно ценный материал о динамике реальных селей, однако весьма трудоёмки и дороги.

Несмотря на то, что исследование динамических характеристик селей на стендах (в лабораторных селевых лотках) имеет ряд ограничений (связанных с малой длиной лотков, малыми объёмами селей, искусственной шероховатостью днища и т.д.), такие исследования всё же позволяют получить экспериментальные данные, пригодные для физического моделирования селей.

За рубежом такие исследования проводятся уже давно [Wei et al., 2012], однако в России лабораторные стенды для исследования динамики селей не применяются.

Схема экспериментальной установки

В 2019 г. в ФГБУН Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск) был разработан и изготовлен стенд для экспериментальных исследований динамики селей.

Стенд представляет собой прямоугольный в поперечном сечении лоток (рисунок 1, 2) длиной 3,0 м, шириной 0,25 м, глубиной 0,25 м. Уклоны лотка изменяются от 10^{o} до 45^{o}. Выше лотка устанавливается ёмкость, заполняемая водой или приготовленной селевой смесью. Начальный расход воды регистрируется. Попуск воды приводит к формированию в лотке селя.

Для наблюдения за внутренней структурой селевого потока обе стенки селевого лотка выполнены прозрачными.

Для наблюдения за процессом формирования селевых отложений ниже селевого лотка устанавливается селеприёмник.

В лотке могут быть установлены металлические штанги для размещения датчиков для измерения давления, скорости и температуры.

Процесс движения селя через прозрачную стенку селевого лотка снимается скоростной видеокамерой.



Рисунок 1. Стенд для экспериментальных исследований динамики селей:
1 – селевой лоток с прозрачной стенкой; 2 – ёмкость для воды и селевой смеси;
3 – селеприёмник; 4 – штанга для установки измерительных датчиков

Figure 1. Stand for experimental studies of the debris-flows dynamics:
1 – debris-flow tray with a transparent wall; 2 – a container for water and debris-flow mixture;
3 – a container for debris-flow deposits; 4 – rod for installation of measuring sensors



Рисунок 2. Стенд для экспериментальных исследований динамики селей

Figure 2. Stand for experimental studies of the debris-flows dynamics

Методика эксперимента

Цель экспериментальных исследований селевых процессов:

1. Определение зависимости динамических характеристик селя от физико-механических свойств селеформирующих грунтов (плотности, влажности, пористости, вязкости, гранулометрического состава, минерального и петрографического состава).

2. Измерение скорости селя на разных участках селевого лотка и по глубине потока; измерение давления на разных участках русла и на разных глубинах потока; измерение температуры на разных глубинах потока и на разных участках селевого лотка; измерение величины скоростного напора; определение количества, высоты и периода селевых волн и их зависимости от физико-механических характеристик селевой смеси; измерение селевых расходов.

3. Определение зависимости характеристик селевых отложений (стратификации, сортированности, строения толщи селевых отложений) от физико-механических свойств селевой смеси и динамических характеристик селя.

В ноябре 2019 г. нами был проведён эксперимент по измерению скорости селя на экспериментальном стенде (селевом лотке, рисунок 3, 4).

В эксперименте измерялись скорость и скоростной напор водного потока и искусственного грязекаменного селя.

Лоток был установлен с уклоном 12°.

При проведении эксперимента первоначально по лотку был пущен водный поток (для измерения скорости потока и величины скоростного напора, которые затем использовались как эталонные значения). Затем по лотку был пущен поток из подготовленной селевой смеси.

Селевая смесь была приготовлена из дресвяно-щебенистого элювиально-делювиального грунта возрастом Q_{IV} с суглинистым заполнителем (лёгкий и средний суглинок до 30%) плотностью в естественном залегании 2210 кг/м^3. Плотность суглинка – 1910 кг/м^3. Дресва и щебень представлены алевролитом средней прочности плотностью в естественном залегании 2210 кг/м^3. Гранулометрический состав исходных грунтов показан в таблице 1. Плотность подготовленной селевой смеси составила 1756 кг/м^3.

В лотке была установлена штанга, по которой измерялась высота скоростного напора.



Рисунок 3. Движение водного потока по селевому лотку

Figure 3. Movement of water flow along the target tray



Рисунок 4. Движение водного (1) и селевого (2) потока по селевому лотку

Figure 4. Movement of water flow (1) and debris-flow (2) along the target tray

Таблица 1. Гранулометрический состав грунтов для подготовки селевой смеси

Table 1. Granulometric composition of soils for the preparation of debris-flow mixture

Наименование горной породы Name of rock	Геологический возраст и генезис Geological age and Genesis	Гранулометрический состав в %; размер частиц, мм Granulometric composition %; particle size, mm									
		Щебень Crushed	Дресва Gravel		Песок Sand				Содержание пылеватых частиц Content of dusty particles		
		>10	10-5	5-2	2-05	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005
Дресвяно-щебенистый грунт с суглинистым заполнителем до 45%, средней плотности, влажный Dry-crushed soil with loamy aggregate up to 45%, medium density, wet	*pdQ$_{IV}$*	65,0	7,7	4,8	5,5	17,0	0,19	0,25	0,69	0,25	0,38

Результаты и их обсуждение

Поскольку данных о скорости селей, измеренных непосредственно во время его движения недостаточно, особую важность приобретают методы расчёта скорости селя по его следам, определённые при полевых исследованиях после схода селя.

Одной из таких методик является методика определения скорости селя по величине скоростного напора: по следам селя (обмазкам) на стволах деревьев и т.д.[1]:

$$U = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\alpha}}, \quad (1)$$

где Δh – разность между отметками следов уровня (обмазки) в лобовой и тыловой части дерева (скоростной напор), м;

α – коэффициент, зависящий от свойств селевой массы (в среднем равняется 0,55).

Считается, что данная методика позволяет с приемлемой точностью восстанавливать значения скорости селя при полевых исследованиях.

Эта методика основана на формуле Э. Торричелли[2], связывающей скорость истечения идеальной жидкости из малого отверстия в открытом сосуде с высотой жидкости над отверстием:

$$U = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

Однако проблематичным остаётся определение коэффициента α[3], зависящего от свойств селевой массы. Ответа на вопрос, от каких именно свойств селевой массы зависит значение коэффициент α, РД 52.30.238-90 не даёт.

Очевидно, что скорость селя должна быть связана с его вязкостью, однако полевых и экспериментальных данных недостаточно.

Теоретического обоснования выбора значения коэффициента α в том или ином случае, к сожалению, в литературе нет.

В ходе эксперимента, проведенного авторами в ноябре 2019 года, была в том числе измерена динамическая вязкость селевой массы по методу Стокса[4]. Данная характеристика получилась равной 0,0498 Пуаз.

Рассчитанная кинематическая вязкость селевой массы[5] составила 0,0928 Стокс (таблица 2):

---

[1] Руководящий документ РД 52.30.238-90. Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей. М.: Гидрометеоиздат, 1990. 200 с.
[2] Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.
[3] Руководящий документ РД 52.30.238-90. Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей. М.: Гидрометеоиздат, 1990. 200 с.
[4] Определение вязкости жидкости методом Стокса: методические указания / сост.: С.С. Никулин, А.С. Чех. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 12 с.
[5] Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.

$$\nu = \mu/\rho, \quad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость;

μ – динамическая вязкость;

ρ – плотность.

Скорость водного потока рассчитывалась по формуле (2).

Результаты эксперимента (таблица 2) оказались неоднозначны. Отмечается разброс полученных значений.

Измеренная скорость водного потока и его скорость, рассчитанная по величине скоростного напора, не совпадают: рассчитанная скорость превысила измеренную скорость до препятствия (штанги) и близка к измеренной скорости после препятствия. Скорость потока, измеренная от начала до конца лотка, в двух случаях оказалась ниже рассчитанной, в одном – близка к ней.

Скорость селя, рассчитанная по величине скоростного напора, оказалась ниже измеренной скорости грязекаменного селя до препятствия (штанги) и выше измеренной скорости после препятствия. Измеренная скорость прохождения селем всего лотка оказалась близка к расчетной.

Однако делать по результатам одного эксперимента далеко идущие выводы о динамике связных селевых смесей и допустимости или не допустимости рассчитывать скорости прошедших селей по величине скоростного напора преждевременно: необходимо проведение массовых экспериментов при разных уклонах селевого лотка и разных физико-механических характеристиках селевых смесей.

Выводы

1. Стенд для экспериментальных исследований динамики селей при всей простоте его конструкции позволяет проводить эксперименты по физическому моделированию селей.

2. Эксперименты на селевых стендах являются важным дополнением к натурным наблюдениям и позволяют выполнять физическое моделирование селей: в частности, исследовать условия возникновения селевых волн.

Таблица 2. Условия и результаты эксперимента по измерению скорости грязекаменного селя

Table 2. Conditions and results of the experiment on measuring the debris-flow velocity.

Суб-станция Sub-stance	Плотность, кг/м³ Density, kg/m³	Температура, °С Temperature, °C	Вязкость Viscosity		Уклон лотка, град Angle of inclination grad.	Глубина потока, м Depth of flow, m	Время дви-жения, с Time of movement, s		Расстояние, м Distance, m		Скорость, м/с Velocity, m/s			Скоростной напор, м Speed head, m			Скорость по величине скоросного напора, м/с Velocity in terms of speed head, m/s
			Динамическая, Н*с/м² (Пуаз) Dynamic, N*s/m² (Poise)	Кинематическая, см²/с (Стокс) Kinematic, cm²/s (Stokes)			до штанги up to rod	полное full	до штанги up to rod	полное full	до штанги up to rod	от штанги до конца лотка from the rod to the end of the tray	средняя average	уровень в лобовой части штанги Level in the front of the bar	уровень в тыловой части штанги Level in the rear part of the rod	Разница уровней	
Вода Water	968	14,6	0,0117	0,0124	12	0,05	1,1	2,00	1,20	2,70	1,09	1,67	1,35	0,15	0,01	0,14	1,65
	968	14,7	0,0117	0,0124	12	0,05	0,9	1,9	1,20	2,70	1,33	1,50	1,42	0,15	0,01	0,14	1,65
	968	14,8	0,0117	0,0124	12	0,05	0,9	1,8	1,20	2,70	1,33	1,67	1,50	0,12	0,01	0,11	1,46
Сель Debris-flow	1756	9,8	0,2346	0,1336	12	0,02	1,7	5,2	1,20	2,70	0,71	0,43	0,52	0,02	0,01	0,01	0,53

Благодарности

Авторы выражают благодарность Г.П. Марченко, под руководством которого и при непосредственном участии был изготовлен стенд для экспериментальных исследований динамики селей.

Литература

Виноградов Ю.Б. Искусственное воспроизведение селевых потоков на экспериментальном полигоне в бассейне р. Чемолган // Селевые потоки: сборник. М.: Гидрометеоиздат, 1976. С. 3-7.

Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 144 с.

Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Боброва Д.А., Окопный В.И., Казакова Е.Н., Рыбальченко С.В. Условия формирования связных селей при слабых осадках и распределение динамических характеристик в селевом потоке // Геориск. 2015. № 4. С. 12-16.

Степанов Б.С., Степанова Т.С. Механика селей: эксперимент, теория, методы расчета. М.: Гидрометеоиздат, 1991. 379 с.

Vinogradova T.A., Vinogradov A.Yu. The experimental debris flows in the Chemolgan river basin. Natural Hazards. 2017.

References

Kazakov N.A., Gensiorovskij Y.V., Bobrova D.A., Kazakova E.N., Okopnyj V.I., Rybal'chenko S.V. Usloviya formirovaniya svyaznykh selei pri slabykh osadkakh i raspredelenie dinamicheskikh kharakteristik v selevom potoke [Conditions of formation of cohesive debris flows in low precipitation and the distribution of the dynamic characteristics in debris-flow channel]. *Georisk [Georisk]*, 2015, no. 4, pp. 12-16, 56. (In Russian; abstract in English).

Stepanov B.S., Stepanova T.S. *Mekhanika selei: eksperiment, teoriya, metody rascheta [Mudflow mechanics: experiment, theory, calculation methods]*. Moscow, Publ. Gidrometeoizdat, 1991. 379 p. (In Russian).

Vinogradov Yu.B. Iskusstvennoe vosproizvedenie selevykh potokov na eksperimental'nom poligone v basseine r. Chemolgan [Artificial reproduction of mudflows at an experimental training ground in the Chemolgan River Basin] In: *Selevye potoki: sbornik [Mudflows: collection]*. Moscow, Publ. Gidrometeoizdat, 1976, pp. 3-7. (In Russian).

Vinogradov Yu.B. *Etyudy o selevykh potokakh [Etudes about mud stream]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980. 144 p. (in Russian).

Vol. 88. Iss. 1. Supplement. P. 189-198. DOI: 10.1007/s11069-017-2853-z

Wei F., Yang H., Hu K., Hong Y., Li X. Two methods for measuring internal velocity of debris flows in laboratory // WIT Transactions on Engineering Sciences. 2012. Vol 73. P. 61-71. DOI: 10.2495/DEB120061

Vinogradova T.A., Vinogradov A.Yu. The experimental debris flows in the Chemolgan river basin. *Natural Hazards*, 2017, vol. 88, iss. 1. Supplement, pp. 189-198. DOI: 10.1007/s11069-017-2853-z

Wei F., Yang H., Hu K., Hong Y., Li X. Two methods for measuring internal velocity of debris flows in laboratory. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 2012, vol 73, pp. 61-71. DOI: 10.2495/DEB120061

УДК 556.5+551.573 DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.504

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ БАССЕЙНОВОЙ ТРАНСПИРАЦИИ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ СТВОЛОВОГО СОКОДВИЖЕНИЯ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Т.С. Губарева[1,2], С.Ю. Лупаков[2,1], Б.И. Гарцман[1,2], В.В. Шамов[2], А.В. Рубцов[3], Н.К. Кожевникова[4]

[1] *Институт водных проблем РАН, Москва, Россия;* [2] *Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия;* [3] *Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия;* [4] *ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия*

tgubareva@bk.ru

POSSIBILITIES OF CATCHMENT'S TRANSPIRATION ASSESSMENT BASED ON SAP FLOW MEASUREMENTS: THE PROBLEM STATEMENT

Tatiana S. Gubareva[1,2], Sergei Yu. Lupakov[2,1], Boris I. Gartsman[1,2], Vladimir V. Shamov[2], Alexey V. Rubtsov[3], Nadezhda K. Kozhevnikova[4]

[1]*Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia;* [2] *Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia;* [3] *Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia;* [4]*FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia*

tgubareva@bk.ru

Аннотация. Изучение сезонной динамики и объемов суммарного испарения лесных водосборов (главным образом транспирации древостоев) является актуальнейшей задачей как в фундаментальном, так и прикладном аспектах. Ее решение связано с рядом сложностей: трудоемкость прямого наблюдения, наличие большого количества влияющих друг на друга факторов, необходимость распространения данных точечных измерений на площадь

Abstract. Study of seasonal dynamics and evapotranspiration volume of forested catchments (mainly forest stand transpiration) is the relevant objective for fundamental knowledge and practical applications. However, there are many difficulties: labor efforts of direct observations, many fac-

Gubareva T.S., Lupakov S.Yu., Gartsman B.I., Shamov V.V., Rubtsov A.V., Kozhevnikova N.K. Possibilities of catchment's transpiration assessment based on sap flow measurements: the problem statement. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 4, pp. 504-532 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.504

и многие другие. Это приводит к тому, что при моделировании водного баланса речных бассейнов испарение определяется по упрощенным схемам, остаточному принципу, что ведет к неправильному отражению структуры водного баланса.

Настоящая статья представляет первые результаты усилий инициативного коллектива исследователей, направленных на постановку экспериментальных измерений ксилемного потока с использованием современных датчиков стволового сокодвижения, а также развития методов оценки транспирации как отдельных деревьев, так и бассейновой транспирации на основе этих данных.

Исследование проведено на территории смешанных хвойно-широколиственных лесов Центрального Сихотэ-Алиня в пределах экспериментального водосбора, входящего в состав Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, на котором рабочей группой возобновлены воднобалансовые работы в 2011 г. и в настоящее время являются уже постоянными. Регистрация стволового сокодвижения выполнялась в период с июня по начало октября 2019 года на одном из доминантных видов местного растительного сообщества. В Дальневосточном регионе России работы такого плана, по-видимому, проведены впервые.

Предполагается, что отработка методов оценки прямых измерений транспирации на уровне отдельных деревьев, попытка пространственной генерализации на территорию топологического масштаба и во-

tors affecting against each other, observational data scaling and so on. As a result, evapotranspiration during hydrological modeling is determined by the leftover principle and simplified techniques, leading to wrong representation of water balance structure.

The presented article deals with the first results of our research group focused on setting up field measurements of xylem sap flow using trunk sap flow measuring sensors as well as development of sap flow assessment methods for individual trees and whole catchment.

The investigations were performed for mixed coniferous-broad leaved forests at the territory of the Central Sikhote-Alin’ within Verkhneussuriyskiy biogeocenotical station of FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS. This site is used for water balance measuring surveys from 2011. Sap flow was measured continuously during June-October of 2019 on one of the local dominant tree species. Apparently, such investigations are novel for the Russian Far East region.

It is expected that direct sap flow measurements for individual trees refinement methods, data scaling and its

влечение полученной информации в комплекс гидрометеорологических наблюдений позволят выполнить исчерпывающий анализ водного баланса в пределах малого речного бассейна и интегрировать поток измеряемых данных по испарению в гидрологические модели.

Ключевые слова: транспирация; стволовое сокодвижение; речной водосбор; береза манчжурская; метод теплового баланса ствола, бассейн реки Уссури.

integration to the hydrometeorological observations will help to make a comprehensive analysis of catchments water balance and to integrate measured data into hydrological models.

Keywords: transpiration; stem sap flow; catchment; Manchurian birch; trunk heat balance method; Ussuri river basin.

Введение

Биотические компоненты экосистемы в гумидных условиях определяют основной механизм расходования влаги и существенно трансформируют остальные потоки в рамках водного цикла. По самым общим оценкам [Клиге, Данилов, Конищев, 1998; Miralles et al., 2011; Jasechko et al., 2013] в глобальном масштабе поток водяного пара в атмосферу с поверхности суши превосходит дренируемый сток в океан почти в два раза, хотя относительная доля этих потоков варьируется в различных климатических зонах и биомах.

При гидрологическом моделировании степень изученности и параметризация оценок бассейнового испарения ниже и качественно хуже по сравнению с блоками моделей, отвечающими за стекание воды. Существующие методы расчета испарения с поверхности суши основаны на использовании уравнений водного и теплового балансов, их связи, на закономерностях переноса влаги от испаряющей поверхности в атмосферу.

В настоящее время активно развиваются и другие подходы, которые выходят на прямые измерения параметров водного обмена. К ним относятся измерения параметров обмена отдельного листа и измерения скорости ксилемного потока (sap flow measurement) на уровне дерева в целом.

Первый подход характеризуется высокой точностью определения параметров, но переход к оцениванию транспирации целого дерева остается трудноразрешимой задачей. Второй подход, при котором возможность интегрального оценивания потока влаги (сокодвижения), проходящем через водопроводящие пути ствола (от английского слова «sap» – заболонь – наиболее активные слои ксилемы, являющиеся главными водопроводящими

путями дерева) представляется более перспективным, главным образом из-за устранения основной проблемы масштабирования на уровне отдельного дерева. Не исключена и возможность оценки транспирационных потоков как для отдельных видов древостоев, так и на уровне более высокой организации, например, малого речного водосбора, включающего совокупность основных видов древостоев.

В настоящей статье представлены подходы и методика исследований транспирации на основе приборов, интегрально измеряющих сокодвижение в стволе дерева (sap flow meters), а также дается первичный анализ данных, полученных на начальном этапе таких исследований на малом горно-таежном бассейне в верховьях реки Уссури.

Постановка задачи

После пионерной работы немецкого исследователя Б. Хубера в 1932 г. [Huber, 1932] появился ряд методов измерения потоков сокодвижения, в основе которых заложены различные принципы: термодинамический, электрический, магнитно-гидродинамический и ядерно-магнитно-резонансный. Однако лишь приборы и измерительные системы, сконструированные на основе методов термодиффузии и конвективного переноса, доведены до коммерческих образцов и получили широкое практическое применение.

В настоящий момент методики, реализованные с использованием термодинамического принципа, можно условно разделить на три группы:

- на основе определения скорости распространения тепловых импульсов (heat pulse velocity);
- эмпирические оценки параметров термической диссипации;
- техника измерения потока путем регистрации деформации температурного поля.

В каждой из категорий разработаны конкретные реализации, отличающиеся друг от друга типами датчиков и нагревательных элементов, их взаимным расположением, алгоритмами формирования температурных полей и импульсов, а также математическим аппаратом обработки получаемых сигналов. Каждый из методов обладает своими достоинствами и недостатками, и это не позволяет в настоящий момент рекомендовать какой-либо один из подходов для выполнения измерений [Тихова и др., 2017]. Детальный обзор существующих методик измерения ксилемного потока можно найти в работах [Čermák, Kučera, Nadezhdina, 2004; Тихова и др., 2017].

Ряд моделей измерителей сокодвижения в деревьях, сконструированных в рамках вышеперечисленных подходов, получили наибольшее развитие и успешно применяются в

научных и прикладных исследованиях. Одна из популярных и широко распространенных моделей – HPV-измеритель SF300 (Greenspan Technology Pty Ltd., Австралия), который разработан на основе определения скорости распространения тепловых импульсов с использованием метода компенсационного измерения. Принципиальная схема устройства, а также алгоритмы для интерпретации данных измерений разработана Д. Маршаллом [Marshall, 1958].

Другая модель – серийно выпускаемый измеритель TDP 30 (Dynamax Inc., США), который разработан с использованием метода оценки термической диссипации, разработанного французским конструктором-исследователем А. Гранье [Granier, 1985].

Третий подход реализован в измерительной системе EMS (Environmental Measuring Systems, Чехия), использованной в данном исследовании. В ее основе лежит предложенный профессором Я. Чермаком с коллегами в 1973 г. метод теплового баланса ствола, доработанный ими же в 2004 г. Данная система подробно описана ниже в разделе, посвященном организации экспериментальных работ.

Для всех перечисленных техник измерений встает принципиальный вопрос о точности определения параметров ксилемного потока. В работе [Тихова и др., 2017] детально сравниваются и анализируются преимущества и недостатки всех перечисленных методов измерений и представляется перспектива разрабатываемой новой гибридной методики измерения линейной скорости ксилемного потока с использованием техники встречных импульсов, позволяющая увеличить точность получаемых результатов.

По сути, все измерительные приборы измеряют скорости ксилемного потока, но в каждой разработке итоговый результат может выражаться в различных единицах. В измерительной системе EMS запись измерений производится в кг/час, что при принятой плотности ксилемного потока равной плотности воды – 1 г/л, можно перевести в л/час. Другая наиболее употребительная характеристика транспирационного потока – плотность ксилемного потока (sap flux density), выражаемая в единицах – мм^3/(мм^2·час) и получаемая путем деления объемного потока (sap flow) в мм^3/час на площадь заболони (sapwood area).

В вопросах изучения процесса транспирации непосредственное измерение ксилемного потока в масштабе ствола представляет собой только начальную стадию исследования. По мере развития алгоритмов и методики работы с приборами закономерно возникают и другие вопросы. Один из них – интеграция данных, измеренных отдельным датчиком, в целом на растение и изменение скорости и направления потока в разрезе ствола. Отчасти вопросы интеграция данных, измеренных отдельным датчиком, в целом на растение

отражены в ряде работ [Marshall 1958; Hatton, Catchpole, Vertessy, 1990; Shackel et al. 1992; Clearwater et al., 1999; Nadezhdina, Čermák, Ceulemans, 2002]. Общие рекомендации всех работ сводятся к тому, что необходимо тщательно подходить к размещению зондов в дереве, учитывать радиальный профиль и устанавливать зонды на правильно заданной высоте в зависимости от вида дерева, корректировать результатов в случае разрыва ксилемного потока в результате механических повреждений металлическими зондами, вставляемыми в ствол дерева.

Существует целый ряд методов для выбора конкретных деревьев при измерении сокодвижения. Все они так или иначе основаны на статистической обработке и включают в себя: выбор деревьев на основе квантилей из выборки по диаметру, на основе биометрических показателей (базальная площадь, обхват, объем древесины, индекс листовой поверхности и другие), различного рода классификации, данных дистанционного зондирования и даже гидрологических моделей [Čermák, Kučera, Nadezhdina, 2004].

Изменение скорости по радиальной направляющей вглубь от камбия (слоя образовательной ткани откуда ведут начала как внутренние, так и внешние слои дерева) отмечают многие исследователи [Edwards, Booker, 1984; Phillips, Oren, Zimmermann, 1996; Zang, Beadle, White, 1996; Nadezhdina, Čermák, Ceulemans, 2002]. Было обнаружено, что максимумы и минимумы в скорости или плотности ксилемного потока коррелируют с ранней (весенней) древесиной и поздней (осенней) древесиной, что привело к рекомендации, согласно которой размещение зондов в таких случаях должно осуществляться на случайно назначенных глубинах заболони [Dye, Olbrich, Poulter, 1991]. Полученный профиль потока может быть затем интегрирован по площади поперечного сечения заболони, чтобы рассчитать общий объемный поток в стволе [Hatton, Catchpole, Vertessy, 1990].

Другая проблема исследования, имеющая решающее значение для выявления роли растительности в наземных водных циклах, затрагивает вопросы оценок взаимосвязи транспирации и метеорологических факторов. После того как Дж. Монтейт [Monteith, 1965] впервые ввел понятие сопротивление листа (leaf resistance) в уравнение Пенмана для оценки эвапотранспирации, были проведены многочисленные исследования для большого числа видов растений и в различных пространственно-временных масштабах с целью количественной оценки испарения от различных факторов испарительной потребности/испаряемости (evaporative demand), состояния увлажнения почвенного покрова, особенностей физиологии растений [Jarvis, McNaughton, 1986]. Большинство таких исследований были сосредоточены в засушливых и полузасушливых регионах, где вода

лимитирована для роста растений. В регионах с избыточным увлажнением и невысоким потенциальным испарением, где рост растений регулируется преимущественно за счет энергетических ресурсов (солнечная радиация), поведение контролирующих внешних факторов эвапотранспирации могут существенно отличаться по сравнению с поведением в засушливом климате [Wang, Tetzlaff, Soulsby, 2019]. В суточном масштабе между транспирационным потоком и метеорологическими характеристиками наблюдаются линейные связи, в то время как в подсуточном масштабе (1-часовом, 10-минутном) такие связи могут нарушаться. Между характеристиками ксилемного потока и параметрами окружающей среды отмечаются гистерезисные взаимосвязи, отличающиеся по форме, направлению и площадью петли [O'Grady, Eamus, Hutley, 1999]. Было обнаружено, что гистерезис может быть обусловлен различными причинами: условиями увлажнения почвенного покрова [O'Grady, Eamus, Hutley, 1999; Tuzet, Perrier, Leuning, 2003]; реакцией устьичной регуляции на изменение упругости водяного пара; изменение гидравлической проводимости от почвы до листвы [Zeppel et al., 2004]. Помимо внешних факторов, влияние на запаздывание пика расхода ксилемного потока также может оказывать внутренняя задержка воды (water storage). По данным [Phillips et al., 2003; Verbeeck et al., 2007] утром, когда начинается транспирация, происходит сработка запасов влаги, накопленных в верхней части ствола, а через некоторое время фиксируется поток у основания растений.

Другой важной стороной исследования является вопрос возможности масштабирования данных от ряда образцов деревьев до целого сообщества древостоев или даже более высоких уровней структурной организации, например, малого водосборного бассейна. Такая постановка вопроса имеет не только интерес общегеографического характера, но и имеет прямое отношение к области гидрологического моделирования, в которой параметризация блока испарения в составе большинства моделей вышла бы на более высокий, объективный уровень. Известны попытки решения этих вопросов с использованием фитоценологических и/или биометрических данных, полученных при инвентаризации леса как, например, в работе [Čermák, Kučera, 1990]. Их суть основана на взаимосвязи характеристик ксилемного потока с каким-либо биометрическим параметром (например, диаметр на уровне груди или базальная площадь, обхват дерева, базальная площадь заболони). В работе [Čermák, 1989] установлено, что для участка лиственничных насаждений солярный эквивалент площади листовой поверхности (solar equivalent leaf area), определяемый как спроецированная площадь листа, взвешенная по интегралу времени интенсивности солнечного излучения в определенной точке кроны, отнесенная к полной площади кроны,

подверженной солнечному излучению, является одним из лучших параметров. В равной степени это относится и к такому простому параметру как масса листвы, выраженной в граммах.

Вовлечение масштабированных данных при параметризации и тестировании гидрологических моделей видится целевой задачей исследования. Блоки эвапотранспирации/транспирации представлены во многих моделях разного уровня сложности. В отдельных работах [Meiresonne et al., 1999; Meiresonne et al., 2002; Chiesi et al., 2002; Oltchev et al., 2002a; Oltchev et al., 2002b] показано, что модели обычно адекватно описывают суточные, хуже – почасовые, объемы транспирации в смешанных лесах лишь при отсутствии ограничений на доступность почвенной влаги для растений. При дефиците почвенной влаги модели удовлетворительно описывают режимы транспирации отдельных видов деревьев, но не смешанных древостоев, что является перспективной задачей на будущее.

Краткая характеристика водосбора, измерительное оборудование и эксперимент

В статье представлены первые результаты усилий коллектива сотрудников Тихоокеанского института географии ДВО РАН и Института водных проблем РАН по постановке в 2018-2019 гг. экспериментальных исследований ксилемного потока с использованием современных датчиков стволового сокодвижения и развитию методов оценки транспирации как отдельных деревьев, так и бассейновой транспирации на основе этих данных. Исследование проводится в зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов Центрального Сихотэ-Алиня на экспериментальных водосборах бассейна р. Правая Соколовка (Чугуевский район Приморского края), входящих в состав Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН [Болдескул и др., 2014; Гарцман, Шамов, 2015]. Местом проведения высокочастотного мониторинга скорости движения влаги в древостое был выбран водосбор левого притока р. Правая Соколовка – ручей Березовый площадью 3,5 км^2. Использовалась измерительная система EMS 81, производства Environmental Measuring Systems (Брно, Чехия), состоящая из комплекса датчиков и энергетического блока.

Измерения выполнялись на временной пробной площадке, расположенной в средней части склона (уклон 15-22º) западной и северо-западной экспозиции, на высоте около 650 м над уровнем моря, в позднесукцессионных сообществах кедрово-широколиственных лесов на

верхней границе распространения сосны корейской. Представленные в пределах изучаемого водосбора горно-лесные бурые почвы характеризуются высокой пористостью, каменистостью и выраженным промывным режимом. Они залегают на относительном водоупоре из трещиноватых скальных пород, имея мощность профиля от 0,5 м на водоразделах до максимум 3 м в пределах днищ долин [Жильцов, 2008]. Горизонт грунтовых вод, формирующийся на поверхности скального водоупора, в периоды умеренного увлажнения обнаруживается на глубине 70-80 см. В составе древостоя широко представлена береза манчжурская (*Betula mandshurica),* 5 экземпляров которой отобраны для установки измерительных систем (рисунок 1). Отобранные деревья входят в состав верхнего полога, имеют высоты в диапазоне 18-23 м и диаметр на уровне груди 14,6-25,5 см.

Применяемая измерительная система реализована с использованием энергобалансового метода (THB – Tissue Heat Balance), усовершенствованного Я. Чермаком с коллегами [Čermák, Kučera, Nadezhdina, 2004; Tatarinov, Kučera, Cienciala, 2005] на основе ранее предложенного ими метода теплового баланса [Čermák, Deml, Penka, 1973; Kučera, Čermák, Penka, 1977]. Основной принцип измерения заключается в измерении температуры сокопроводящей ткани древесины (заболони) при ее внутреннем нагреве. Для этого используются три электрода из нержавеющей стали, проводящих к сокопроводящей части растения электрический ток. При этом пространство вокруг электродов нагревается, часть энергии нагрева рассеивается в окружающую среду теплопроводностью ткани, а остальная часть уносится потоком древесного сока.

Расчет скорости ксилемного потока основывается на количестве энергии, необходимого для поддержания заданной разности температур между нагретой и не нагретой частью древесины. Тепловой баланс участка дерева, где производится непосредственное измерение потока представляется в виде формулы [Čermák, Kučera, Nadezhdina, 2004]:

$$P = QdTc_w + dT\lambda, \quad (1)$$

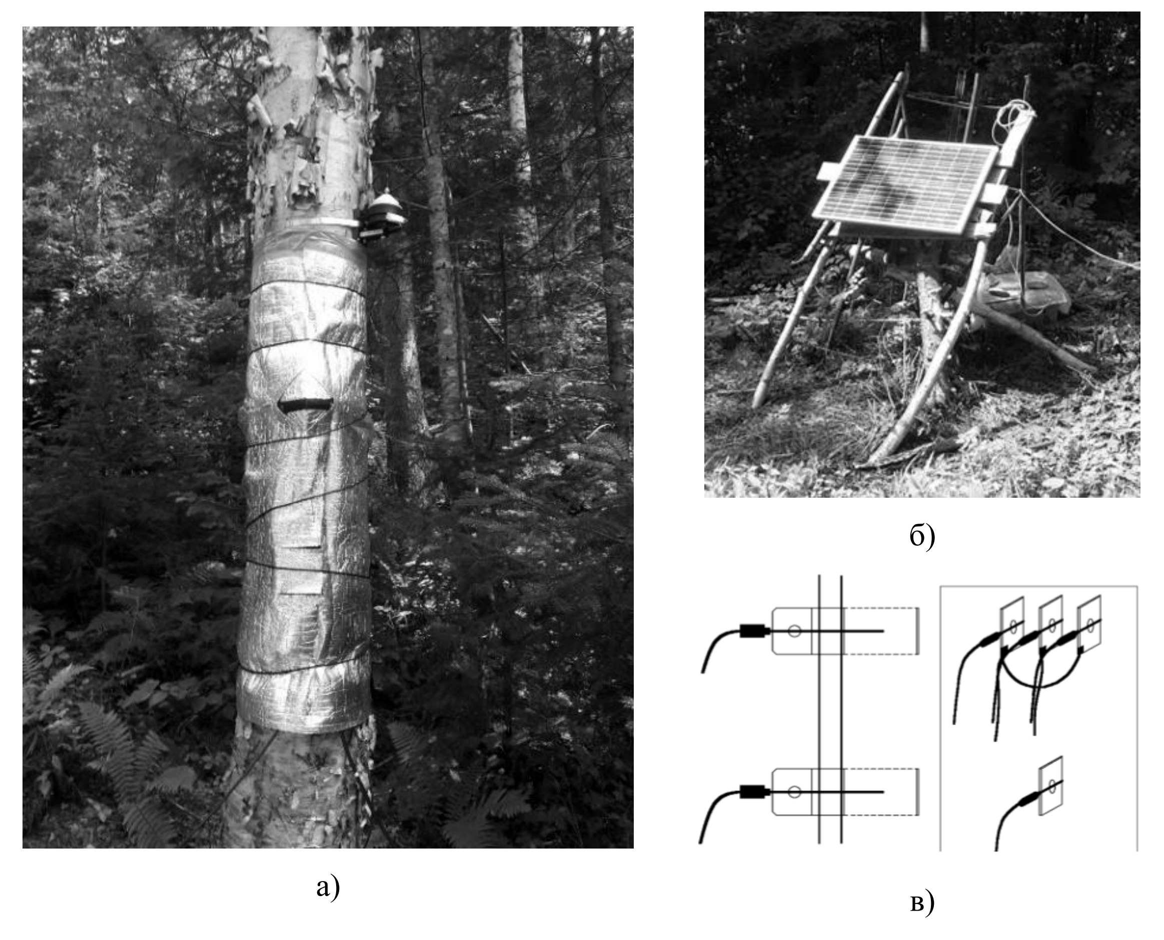
где P – входной тепловой поток, Вт;

Q – сокодвижение (расход), кг·с$^{-1}$;

dT – разница температур в точке измерения, К;

c_w – удельная теплоемкость воды (Дж·кг$^{-1}$·K^{-1});

λ – коэффициент тепловых потерь Вт·K^{-1}.



а) б) в)

Рисунок 1. Общий вид измерительной системы. а) – внешний вид установленного датчика на отдельном дереве с защитой от атмосферных воздействий; б) питающая датчики солнечная панель; в) схема модуля датчика: электроды (пластины) и Cu-Co термопары («иглы»). Источник: [Čermák, Kučera, Nadezhdina, 2004].

Figure 1. Overview of measuring system. a) layout of sensors on individual tree equipped with weather shields; б) solar energy-supply panel, в) principal sensors module scheme: electrodes (stainless steel plates) and thermocouples Cu-Co (T-type) from [Čermák, Kučera, Nadezhdina, 2004]

Большая часть воды в стволе дерева движется вверх, однако около 10-20% тепла теряется за счет нагревания стволовых тканей, окружающих точку измерения. Несмотря на то, что эти потери (λ) частично устраняются за счет технических приспособлений (изоляция и экранирование от прямого солнечного нагревания), их нельзя исключить полностью. Величина таких потерь хорошо видна при анализе уже измеренного сокодвижения: ранним утром (без поступления солнечной энергии) регистратор обычно фиксирует положительные значения движения влаги ($Q_{w.rec}$), которые исходя из физиологии растений являются

фиктивными ($Q_{w.fic}$). При расчете фактического расхода сока (Q_w) будем вычитать $Q_{w.fic}$ оцениваемый периодически, когда фактический расход приближается к нулю, например, ранним утром после продолжительного дождя из записанных данных о расходе ($Q_{w.rec}$):

$$Q_w = Q_{w.rec} - Q_{w.fic} \quad (2)$$

Вычитание $Q_{w.fic}$ проводится в полуавтоматическом режиме в программном обеспечении, поставляемом вместе с оборудованием EMS.

Преимущества используемой системы состоят: в возможности прямого нагрева большого объема ксилемы, что положительно влияет на точность измерения; в модульной конструкции (в систему можно включить различные дополнительные датчики, такие как дендрометры, измерители метеорологических условий, почвенные термометры и тому подобные); в отсутствии необоснованных эмпирических параметров [Tatarinov, Kučera, Cienciala, 2005]; в отсутствии необходимости калибровки прибора; в возможности долговременной записи исследуемых характеристик. Метод устойчив, апробирован на множестве видов деревьев и дает надежные данные, показывает хорошую сходимость с результатами эталонных измерений [Lundblad, Lagergren, Lindroth, 2001]. Опыт применения в нашей стране также весьма успешен [Oltchev et al., 2002a; Бенькова и др., 2019; Urban et al., 2019].

Недостатками используемой системы EMS можно считать: относительно высокое потребление электроэнергии; диаметр измеряемых деревьев должен быть более 12 см; все оборудование, входящее в систему, достаточно сложное и требует основательной подготовки для полноценного использования.

Фактически измерительная система одной из последних версий (EMS 81) состоит из нескольких элементов: электронный блок MicroSet 8X, контролирующий работу системы, хранящий записываемые данные и поддерживающий разницу температур между термопарами; сенсоры SF 81 в виде игл, предназначенные для непрерывного измерения температуры (термопары); набор электродов, проводящих ток к заданным точкам водопроводящей ткани дерева; защитные приспособления; кабели и тому подобное.

Используемое нами измерительное оборудование EMS-81 включает параллельные измерения обхвата дерева (длины окружности), что предполагает исследование функциональной связи между объемом потока сокодвижения и обхватом, пересчитываемым в диаметр. Очевидно, что предполагаемая зависимость аналогична главенствующей в речной гидрометрике зависимости «расход-уровень» $Q=f(H)$. Обнаружение подобной зависимости

позволило бы в дальнейшем для получения информации о транспирации измерять только обхват, что примерно соответствует гидрологической зависимости уровень-расход *Q=f(H)*. Указанная связь подтверждена современными исследованиями, в том числе с помощью МРТ-сканирования древесины [De Schepper et al., 2012].

Измерительный эксперимент включал следующие виды работ: установка и контроль автоматической измерительной системы измерения транспирации деревьев методами регистрации стволового сокодвижения; регистрация стандартных метеорологических переменных: количества осадков, температуры воздуха, влажности воздуха, солнечной радиации, скорости ветра; измерений влажности и температуры почвы, осадков под пологом леса; организация временного водомерного поста с автоматической регистрация уровней и измерения расхода воды на тестовом водосборе.

Результаты

Анализ результатов сезонных регулярных наблюдений 2019 года и пробных эпизодических измерений, выполненных в 2018 году, позволяют сделать лишь самые предварительные выводы. Первым шагом обработки 10-минутных записей расходов ксилемного потока была процедура устранения фиктивного потока в ночное время и последующим их переводом в часовой интервал, в результате чего были получены фактические серии измерений объемом порядка 15000 записей для 5 стволов березы, отличающихся обхватом (от 476 до 829 мм), в период с 16 июня по 2 октября 2019 г. (рисунок 2).

Очевидной проблемой функционирования системы являлись пропуски данных в отдельные периоды времени, что не всегда объяснялось отсутствием подачи энергопитания в систему. Например, у датчика №1 систематически отсутствует запись в дневные часы и полное отсутствие записей со второй половины сентября, а у датчика 5 отсутствует запись в конце июля. В отдельные моменты времени фиксируются единичные пропуски регистрации. При первичном визуальном анализе и при статистической обработке серий измерений можно отметить испорченные участки записей. Так, например, в июне у датчика №1 в дневные часы в период активной транспирации отмечаются нулевые значения в отличие от других датчиков. Очевидно, что наиболее вероятные причины сбоя записей, как указывалось выше, заключаются в сложности оборудования, замыкании контактов, падении напряжение в системе, но возможны и другие причины, которые еще требуется выяснить.

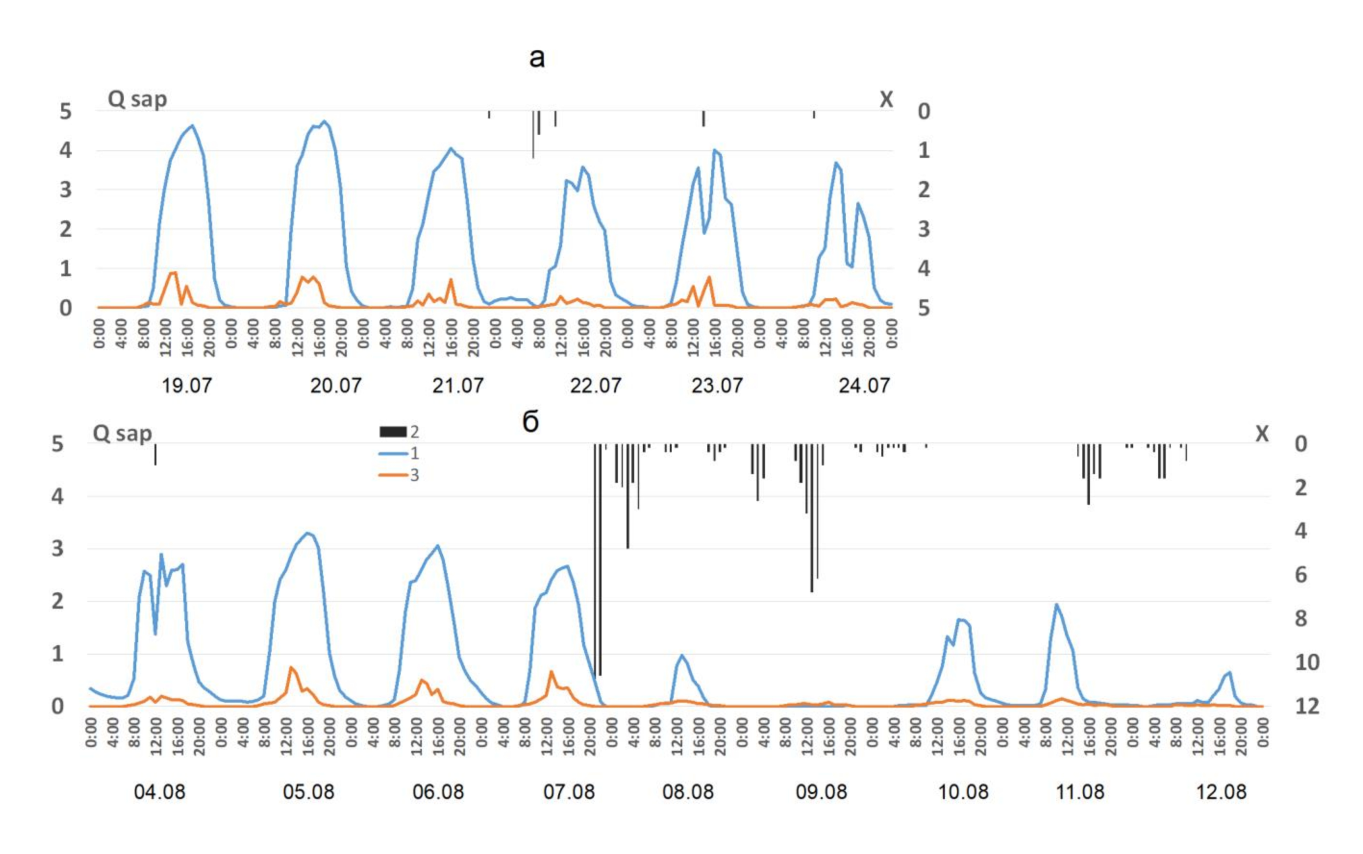


Рисунок 2. Суточный ход ксилемного потока с 1-часовом шагом для экземпляра березы манчжурской обхватом ствола 501 мм (датчик №3): (а) – в июле (относительно сухой период); (б) – в августе (период интенсивной увлажненности бассейна).
1 – расход ксилемного потока (Q sap, кг/ч), 2 – осадки (X, мм),
3 – солнечная радиация (R, Вт/м^2)

Figure 2. 1-hour time step daily variations of sap flow for Manchurian birch, trunk circumference is 501 mm (sensor №3): (a) – June (relatively dry period), (б) – August (heavy rainfalls period)
1 – Sap flow (Q sap, kg/h), 2 – precipitation (X, mm), 3 – solar radiation (R, W/m^2)

Для восстановления таких пропусков была предпринята попытка проанализировать графики связи одновременных записей соседних деревьев и в случае их достаточно тесной связи оценить их. На рисунке 3 представлены примеры таких зависимостей между измерениями отдельных датчиков, которые строились помесячно. Тесный характер таких связей (корреляция на уровне 0,9) позволяет достаточно надежно восстанавливать пропущенные значения.

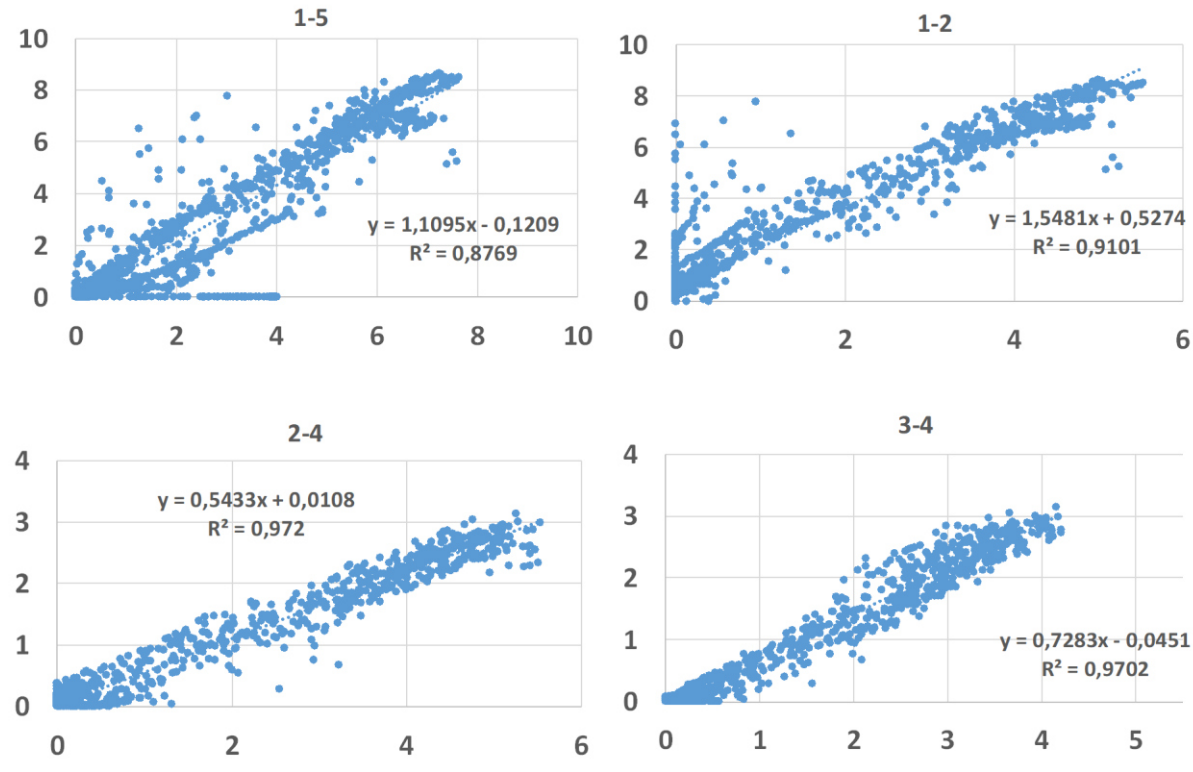


Рисунок 3. Графики связи стволового сокодвижения (кг/ч) между измерениями различными датчиками

Figure 3. The relationships of stem sap flow (kg/h) between measurements of various sensors

Анализ внутрисуточной динамики показывает, что в ночные часы транспирация затухает и фиксируемые значения примерно с 1 часа ночи равны нулю либо близки к нулю. Однако в отдельные дни отмечаются повышенные величины, которые могут достигать значимых величин ночью до 0,30 л/ч. С позиции физиологии растений такое событие маловероятно, тем не менее обзор публикаций по этой проблеме и работы [Forster, 2014] показывает, что ночной поток фиксируется всеми современными датчиками сокодвижения в независимости от заложенной принципиальной схемы устройства. Тем не менее, для датчиков, в основе которых лежит метод теплового баланса, величины потока в ночное время минимальны. На рисунке 2б приведен характерный пример, когда ксилемный поток (4-5 августа) в ночные часы был выражен и в 3 часа ночи составлял от 0,3 до 0,1 л/ч соответственно.

Максимумы транспирации во внутрисуточном ходе по сглаженным часовым данным наблюдаются в интервале от 13 до 16-17 часов дня. Как правило, пики имеют одномодальный характер, однако в отдельные дни внутрисуточный ход приобретает сложный характер с

двумодальными пиками или имеет гребенчатый вид. Нарушение монотонности хода обуславливается как внешними факторами (изменением температуры, солнечной радиации, ветерового режима, влажности воздуха, температура и влажность почвы и другими), так и происходящими физиологическими процессами в растении (устьичная регуляция, видовая специфика, поглощение воды корнями). На рисунке 2 приведены примеры смены внутрисуточного хода структур ксилемного потока, выраженного в единицах расхода, при изменении погодных условий. В целом, при выпадении небольших и непродолжительных осадков происходит снижение интенсивности сокодвижения и ход сокодвижения приобретает пилообразный характер (рисунок 2а). При более интенсивных и продолжительных, сопровождающихся снижением солнечной радиации до близких к нулевым отметкам, транспирация прекращается.

Для гидрологического моделирования количественные оценки бассейновой транспирации суточного и часового разрешения представляют наибольший интерес, что открывает перспективы параметризации имитационных моделей на принципиально новой основе. Полученные результаты измерений пока позволяют оценить величины потока влаги транспирируемой отдельным деревом (таблица 1, рисунок 4).

Из рисунка 4 и таблицы 1 видно, что суточные максимумы испаряющей влаги приходятся на июль достигая 100 л/сутки. В данном случае больший размер дерева однозначно связан с относительно большими объемами транспирации, что связано с большей площадью сокопроводящей ткани (ксилемы). Такое положение не всегда должно соблюдаться, поскольку, проходя определенный возрастной порог, дерево начинает потреблять все меньше воды, несмотря на существенные размеры. Таким образом, выбранные деревья достаточно молоды и при масштабировании на площадь этот момент должен быть учтен, поскольку прямое применение данных в данном случае приведет к завышенным значениям. Отмечается тенденция снижения транспирационного потока в сезонном разрезе, что связано с общим постепенным падением дневных температур воздуха.

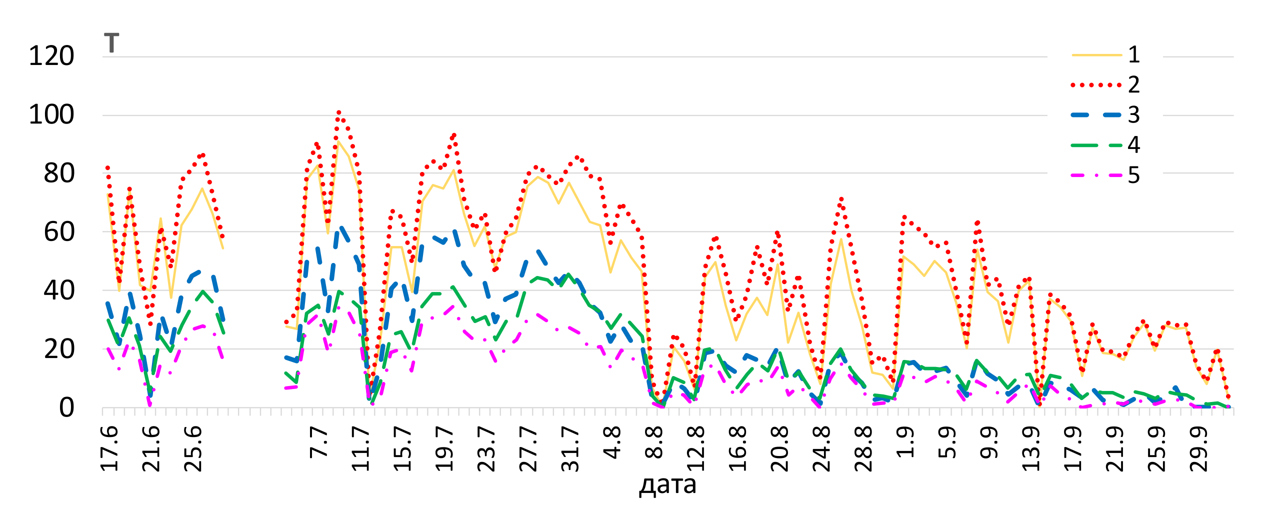


Рисунок 4. Посуточная транспирация (Т, л) в эквиваленте ксилемного потока для деревьев различного обхвата G (мм): 1 – 829, 2 – 825, 3 – 667, 4 – 502, 5 – 477

Figure 4. Daily transpiration (liters) in sap flow equivalent for different circumference trees G (mm): 1 – 829, 2 – 825, 3 – 667, 4 – 502, 5 – 477

Таблица 1. Оценки транспирации (в л) экземпляров березы манчжурской различного обхвата, рассчитанные по записям ксилемного потока (мин – минимальное суточное значение, макс – максимальное суточное значение, сумма – объем транспирирующей влаги за период)

Table 1. Transpiration assessments (liters) for Manchurian birch based on sap flow records (мин – minimal daily value, макс – maximal daily value, сумма – transpiration volume of chosen periods)

Обхват дерева, мм	№ датчика	Июнь, 17-28		Июль, 4-30		Август, 1-31		Сентябрь, 1-31	
		мин / макс	сумма	мин / макс	сумма	мин / макс	сумма	мин / макс	сумма
829	5	37,4 / 74,9	696	3,80 / 90,8	1729	0,30 / 70,2	1026	0,03 / 54,1	901
825	1	28,2 / 87,6	762	3,26 / 101	1893	0,47 / 86,5	1301	0,61 / 65,4	1011
667	2	4,02 / 47,1	385	1,14 / 63,3	1182	0,85 / 42,7	448	0,00 / 16,5	194
502	3	5,24 / 39,5	315	0,09 / 45,5	848	0,02 / 40,8	462	1,05 / 16,1	241
477	4	0,77 / 27,9	217	0,14 / 34,6	640	0,00 / 25,4	281	0,00 / 11,8	126

На рисунке 5а приведены зависимости изменения объема транспирации от диаметра дерева для каждого месяца с июня по сентябрь. Зависимости имеют в целом линейный характер при значениях коэффициента детерминации R^2>0,8 во всех случаях, что дает возможность оценивать транспирацию деревьев, не охваченных измерениями. На рисунке 5б представлено сезонное изменение отношения объема месячной транспирации к обхвату дерева (T/G), характеризующее удельную интенсивность транспирации и имеющее размерность л/мм. Этот график наглядно демонстрирует различия условий первой половины теплого периода, когда интенсивная транспирация связана с высокой активностью вегетации, и второй его половины, когда затухание вегетационных процессов приводит к спаду интенсивности транспирации.

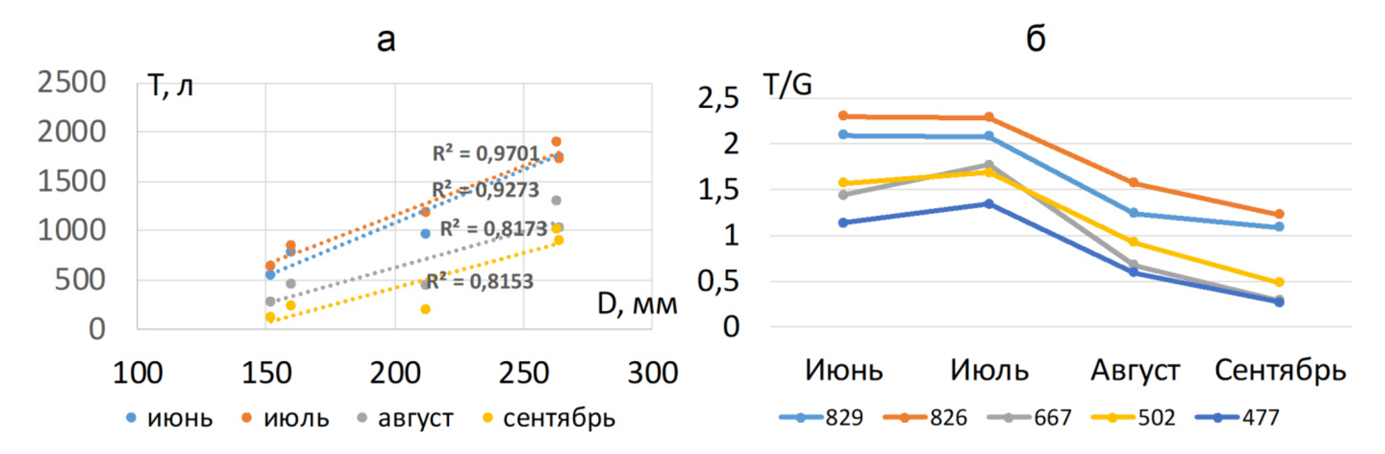


Рисунок 5. Объем транспирации в зависимости от диаметра дерева – (а); сезонная динамика отношения объема транспирации к обхвату дерева – (б)

Figure 5. The volume of transpiration depending on the diameter of the tree – (a); seasonal dynamics of the ratio of transpiration volume to trunk circumference – (b)

Интересной представляется зависимость между изменением объемов потока от различных фиксируемых характеристик (рисунок 6). Для рассматриваемого периода сокодвижение изменяется от примерно 7 кг $ч^{-1}$ в дневное время до практически нулевых значений в ночное, температура внутри дерева (датчик №2) варьируется от 25,2 до 27,1°C, обхват от 666,8 до 667,4 мм.

При достаточно однородных метеорологических условиях (первые шесть суток в примере на рисунке 6) характер суточных колебаний схож для всех характеристик, визуальный анализ подтверждает наличие выраженной связи между ними. Минимумы значений сокодвижения принципиально совпадают с максимумами в величинах обхвата (диаметра) ствола, напротив максимумы сокодвижения связаны с максимальными значениями

внутренней температуры дерева. В таком режиме нахождение статистической связи между транспирацией и обхватом в пределах суток не вызывает проблем и осложняется только наличием небольшого временного сдвига в реакции дерева на внешнее метеорологическое воздействие. Например, для экземпляра березы с датчиком №2 коэффициент детерминации при строгом соответствии временного шага (с 00:00 по 24:00 7 июля 2019 года) для сокодвижения и обхвата составляет 0,57, а при сдвиге обхвата на 2 часа позже уже 0,88. Сопоставимые результаты получены и для остальных объектов исследования.

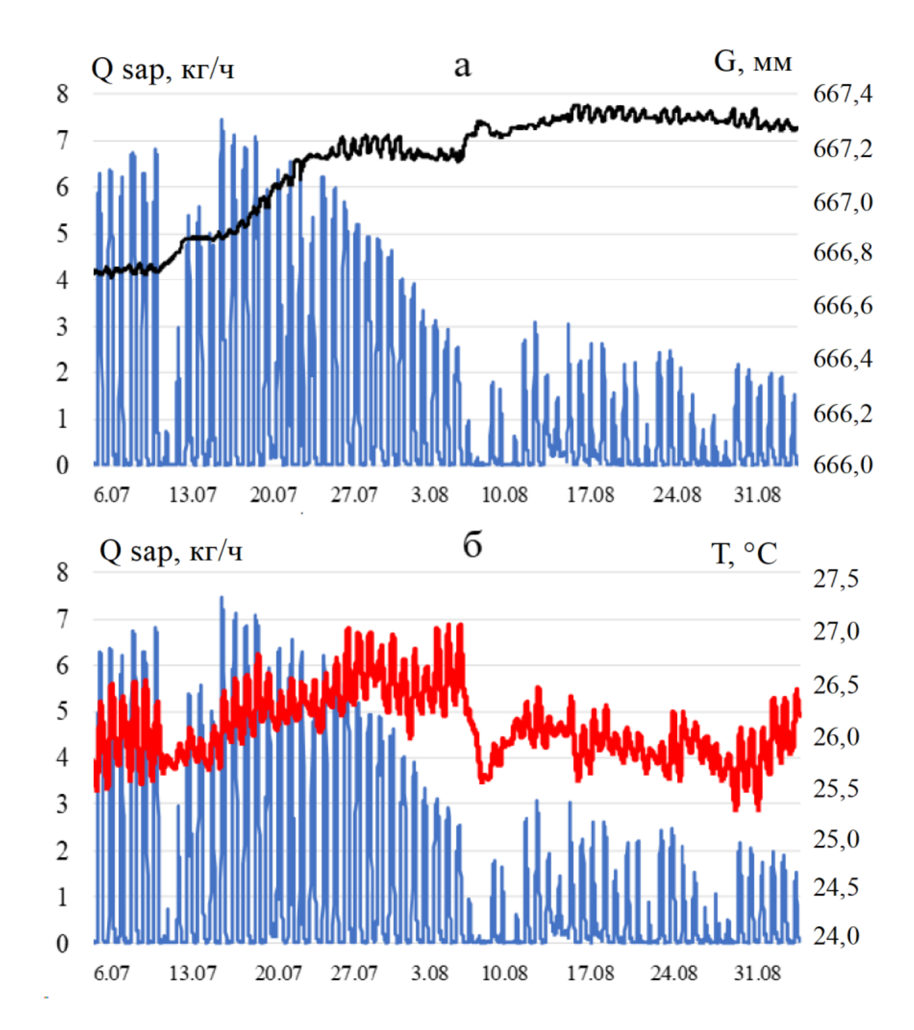


Рисунок 6. Примеры совместной динамики сокодвижения (синий цвет) и: а – обхвата ствола дерева (черный цвет), б – внутренней температуры дерева в ненагреваемой области (красный цвет) для Березы маньчжурской (датчик № 2) в период с 6.07.19 по 6.09.19

Figure 6. Examples of combined dynamics example of sap flow (blue line) and: a – trunk circumference (black line), б – inner tree temperature in non-heated area (red line) of Manchurian birch (sensor № 2) for the period 6.07.19 по 6.09.19.

Тем не менее нахождение подобной связи для всего сезона осложняется неравномерностью метеорологических условий, на которые живой объект в виде дерева реагирует по-разному. 11-12 августа прошли дожди, условий для интенсивной транспирации не было, что наглядно демонстрируется на графиках (рисунок 6). После этих событий температура воздуха заметно снизилась (суточные максимумы снизились с 32 до почти 22,5ºС) и более не вернулись на тот же уровень, что вызвало визуально определяемый нисходящий тренд к концу теплого периода. Напротив, обхват древесного ствола рос, что может быть связано как с повышенной влажностью периода, а соответственно и наружных слоев древесины, что влияет на измерения, физиологическими особенностями дерева, а также возможными ошибками измерений, что требует дальнейших более детальных исследований в этом направлении.

Взаимная динамика измеренных в непосредственной близости от деревьев почвенных характеристик и сокодвижения (рисунок 7) показывает их достаточно тесную связь. Данные с 1-часовым разрешением в целом повторяют ход друг друга.

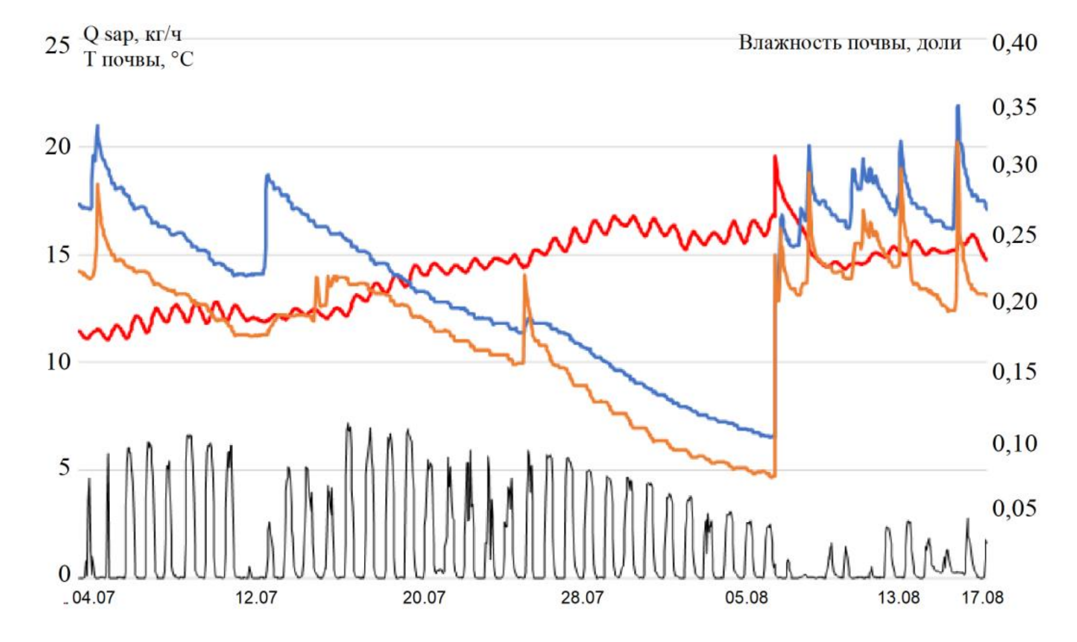


Рисунок 7. Динамика измеренных почвенных характеристик и сокодвижения, часовой шаг, береза маньчжурская (датчик №2). Черная линия – сокодвижение; красная линия – температура почвы на глубине 15 см; голубая и оранжевая линии – влажность на глубине 10 и 20 см соответственно.

Figure 7. Dynamics of the measured soil properties and sap flow, 1-hour time step, Manchurian birch (sensor №2). Black line – sap flow, red line – soil temperature at 15 cm depth, blue and orange line – soil humidity at 10 and 20 cm depth respectively.

Только на 10-минутном шаге видно небольшое запаздывание температурных характеристик как отклика на внешнее метеорологическое воздействие. Практическая синхронность объясняется небольшим заглублением почвенных датчиков, поскольку высокая скелетность почвы и каменистость даже на глубине 10-20 см не позволяют безопасно установить соответствующие сенсоры.

Заключение

Предлагаемый подход, основой которого являются прямые измерения ксилемного потока в стволах древостоев в составе комплексного гидрометеорологического и лесного (бонитетного) мониторинга в пределах экспериментальных речных бассейнов, открывает возможности объективного оценивания вклада эвапотранспирационной составляющей водного баланса в пределах этих бассейнов, включения этих данных и оценок в водобалансовые расчеты и параметризацию гидрологических моделей, что в перспективе позволит выйти на новый уровень описания процессов влагооборота.

На начальном уровне исследования была выполнена систематизация опыта уже имеющегося задела научных групп, занимающихся разработкой измерительных систем и всесторонним анализом получаемой информации, а также освоена приборная база и методическая основа по выполнению натурных измерений стволового сокодвижения. Измерительная системы EMS-81 была введена в состав воднобалансовых измерений в 2019 г. на экспериментальном бассейне р. Правая Соколовка на базе Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, и в статье представлены начальные результаты анализа расходов ксилемного потока пяти деревьев вида Березы манчжурской в пределах водосбора руч. Березовый.

Отлажены процедуры обработки серий измерений – восстановление пропущенных значений, срезки фиктивных расходов в ночное время. В результате получены серии наблюдений в трех форматах: 10-минутного и 1-часового разрешения, суточной суммарной транспирации в период с июня по сентябрь с учетом срезки фиктивных расходов потока для каждого дерева, что позволяет оценивать характер их динамики в различных временных масштабах. Выполнены оценки потоков транспирации для каждого дерева и выявлены зависимости, показывающие изменения транспирационных потоков в различных временных масштабах и обусловленности от ведущих факторов. В перспективе ожидается продолжение накопления фактического материала, поиск оптимальных методов масштабирования

полученных данных на территорию малого речного бассейна и вовлечение полученных бассейновых оценок в параметризацию гидрологических моделей.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-05-00326.

Acknowledgments

This study was supported the Russian Foundation for Basic Research, project no. 19-05-00326.

Литература

Бенькова А.В., Рубцов А.В., Бенькова В.Е., Шашкин А.В. Сезонная динамика сокодвижения у деревьев Larix sibirica в Красноярской лесостепи // Журнал Сибирского федерального унвиверситета. Биология. 2019. Том 12. № 1. С. 32-47. DOI: 10.17516/1997-1389-0071

Болдескул А.Г., Шамов В.В., Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 2. С. 90-101.

Гарцман Б.И., Шамов В.В. Натурные исследования стокоформирования в Дальневосточном регионе на основе современных средств наблюдений // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 589-599. DOI: 10.7868/S0321059615060048

References

Benkova A.V., Rubtsov A.V., Benkova V.E., Shashkin A.V. Sezonnaya dinamika sokodvizheniya u derev'ev Larix sibirica v Krasnoyarskoi lesostepi [Seasonal sap flow dynamics in Larix sibirica trees growing in the Krasnoyarsk forest-steppe]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo unviversiteta. Biologiya. [Journal of Siberian Federal University. Biology]*, 2019, vol. 12, iss. 1, pp. 32-47. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.17516/1997-1389-0071.

Boldeskul A.G., Shamov V.V., Gartsman B.I., Kozhevnikova N.K. Ionnyi sostav geneticheskikh tipov vod malogo rechnogo basseina: statsionarnye issledovaniya v Tsentral'nom Sikhote-Aline [Main ions in water of different genetic types in a small river basin: case experimental studies in Central Sikhote-Alin]. *Tikhookeanskaya geologiya [Tikhookeanskaya geologiya]*, 2014, vol. 33, no. 2, pp. 90-101. (In Russian; abstract in English).

Жильцов А.С. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2008. 331 с.

Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н. История гидросферы. М.: Научный мир, 1998. 368 с.

Тихова Г.П., Павлов А.Г., Придача В.Б., Сазонова Т.А. Новый гибридный метод для измерения транспирационных потоков влаги у деревьев // Сибирский лесной журнал. 2017. № 4. С. 78-90. DOI: 10.15372/SJFS20170407

Čermák J. Solar equivalent leaf area: an efficient biometric parameter of individual leaves, trees and stands // Tree Physiology. 1989. Vol. 5. No. 3. P. 269-289. DOI: 10.1093/treephys/5.3.269

Čermák J., Deml M., Penka M. A new method of sap flow rate determination in trees // Biologia Plantarum (Praha). 1973. Vol. 15. No. 3. P. 171-178.

Čermák J., Kučera J. Scaling up transpiration data between trees, stands and watersheds // Silva Carelica, 1990. Vol. 15. P. 101-120

Čermák J., Kučera J., Nadezhdina N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands // Trees. 2004. Vol. 18. No. 5. P. 529-546. DOI 10.1007/s00468-004-0339-6

Čermák J. Solar equivalent leaf area as the efficient biometric parameter of individual leaves, trees and stands. *Tree Physiology*, 1989, vol. 5, no. 3. P. 269-289. DOI: 10.1093/treephys/5.3.269

Čermák J., Deml M., Penka M. A new method of sap flow rate determination in trees. *Biologia Plantarum (Praha)*, 1973, vol. 15, no. 3, pp. 171-178.

Čermák J., Kučera J. Scaling up transpiration data between trees, stands and watersheds. *Silva Carelica*, 1990, vol. 15, pp. 101-120.

Čermák J., Kučera J., Nadezhdina N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees*, 2004, vol. 18, no. 5, pp. 529-546. DOI: 10.1007/s00468-004-0339-6

Chiesi M., Maselli F., Bindi M., Fibbi L., Bonora L., Raschi A., Tognetti R., Čermák J., Nadezhdina N. Calibration and application of FOREST-BCG in a Mediterraen area by the use of conventional and remote sensing data. *Ecological Modelling*, 2002, vol. 154, iss. 3, pp. 251-262. DOI: 10.1016/S0304-3800(02)00057-1

Clearwater M.J., Meinzer F.C., Andrade J.L., Goldstein G., Holbrook N.M. Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. *Tree Physiology*, 1999, vol. 19, iss. 10, pp. 681-687. DOI: 10.1093/treephys/19.10.681

Chiesi M., Maselli F., Bindi M., Fibbi L., Bonora L., Raschi A., Tognetti R., Čermák J., Nadezhdina N. Calibration and application of FOREST-BCG in a Mediterraen area by the use of conventional and remote sensing data // Ecological Modelling. 2002. Vol. 154. Iss. 3. P. 251-262. DOI: 10.1016/S0304-3800(02)00057-1

Clearwater M.J., Meinzer F.C., Andrade J.L., Goldstein G., Holbrook N.M. Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes // Tree Physiology. 1999. Vol. 19. Iss. 10. P. 681-687. DOI: 10.1093/treephys/19.10.681

De Schepper V., van Dusschoten D., Copini P., Jahnke S., Steppe K. MRI links stem water content to stem diameter variations in transpiring trees // Journal of Experimental Botany. 2012. Vol. 63. Iss. 7. P. 2645-2653. DOI:10.1093/jxb/err445

Dye P.J., Olbrich B.W., Poulter A.G. The influence of growth rings in Pinus patula on heat pulse velocity and sap flow measurement // Journal of Experimental Botany. 1991. Vol. 42. Iss. 7. P. 867-870. DOI:10.1093/jxb/42.7.867

Edwards W.R.N., Booker R.E. Radial variation in the axial conductivity of Populus and its significance in heat pulse velocity measurement // Journal of Experimental Botany. 1984.

De Schepper V., van Dusschoten D., Copini P., Jahnke S., Steppe K. MRI links stem water content to stem diameter variations in transpiring trees. *Journal of Experimental Botany*, 2012, vol. 63, iss. 7, pp. 2645-2653. DOI:10.1093/jxb/err445

Dye P.J., Olbrich B.W., Poulter A.G. The influence of growth rings in Pinus patula on heat pulse velocity and sap flow measurement. *Journal of Experimental Botany*, 1991, vol. 42, iss. 7, pp. 867-870. DOI:10.1093/jxb/42.7.867

Edwards W.R.N., Booker R.E. Radial variation in the axial conductivity of Populus and its significance in heat pulse velocity measurement. *Journal of Experimental Botany*, 1984, vol. 35, iss. 4, pp. 551-561. DOI: 10.1093/jxb/35.4.551

Forster M.A. How significant is nocturnal sap flow? *Tree Physiology*, 2014, vol. 34, iss. 7, pp. 757-765. DOI: 10.1093/treephys/tpu051

Gartsman B.I., Shamov V.V. Field studies of runoff formation in the far east region based on modern observational instruments. *Water Resources*, 2015, vol. 42, no. 6, pp. 766-775. DOI: 10.1134/S0097807815060044 (In Russ. ed.: Gartsman B.I., Shamov V.V. Naturnye issledovaniya stokoformirovaniya v Dal'nevostochnom regione na osnove sovremennykh sredstv nablyudenii. *Vodnye resursy*, 2015, vol. 42, no. 6, pp. 589 599. DOI: 10.7868/S0321059615060048)

Vol. 35. Iss. 4. P. 551-561. DOI: 10.1093/jxb/35.4.551

Forster M.A. How significant is nocturnal sap flow? // Tree Physiology. 2014. Vol. 34. Iss. 7. P. 757-765. DOI: 10.1093/treephys/tpu051

Granier A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres // Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences. 1985. 42 (2). P. 193-200.

Hatton T.J., Catchpole E.A., Vertessy R.A. Integration of sapflow velocity to estimate plant water use // Tree Physiology. 1990. Vol. 6. Iss. 2. P. 201-209. DOI: 10.1093/treephys/6.2.201

Huber B. Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftströme // Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft. 1932. Vol. 50. P. 89-109.

Jarvis P.G., McNaughton K.G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region // Advances in Ecological Research. 1986. Vol. 15. P. 1-49. DOI: 10.1016/S0065-2504(08)60119-1

Jasechko S., Sharp Z.D., Gibson J.J., Birks S.J., Yi Y., Fawcett P.J. Terrestrial water fluxes dominated by transpiration // Nature. 2013. Vol. 496. P. 347-350. DOI: 10.1038/nature11983

Kučera J., Čermák J., Penka M. Improved thermal method of continual recording the

Granier A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des sciences forestières*, INRA/EDP Sciences, 1985, 42 (2), pp. 193-200.

Hatton T.J., Catchpole E.A., Vertessy R.A. Integration of sapflow velocity to estimate plant water use. *Tree Physiology*, 1990, vol. 6, iss. 2, pp. 201-209. DOI: 10.1093/treephys/6.2.201

Huber B. Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftströme. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 1932, vol. 50, pp. 89-109.

Jarvis P.G., McNaughton K.G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Advances in Ecological Research*, 1986, vol. 15, pp. 1-49. DOI: 10.1016/S0065-2504(08)60119-1

Jasechko S., Sharp Z.D., Gibson J.J., Birks S.J., Yi Y., Fawcett P.J. Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. *Nature*, 2013, vol. 496, pp. 347-350. DOI: 10.1038/nature11983

Klige R.K., Danilov I.D., Konishchev V.N. *Istoriya gidrosfery [The history of hydrosphere]*. Moscow, Publ. Scientific world, 1998. 368 p. (In Russian; abstract in English).

Kučera J., Čermák J., Penka M. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. *Biologia Plantarum (Praha)*, 1977, vol. 19, no. 6, pp. 413-420.

Lundblad M., Lagergren F., Lindroth A. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods

transpiration flow rate dynamics // Biologia Plantarum (Praha). 1977. Vol. 19. No. 6. P. 413-420

Lundblad M., Lagergren F., Lindroth A. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sapflow measurements in pine and spruce // Annals of Forest Science. 2001. Vol. 58. No. 6. P. 625-638. DOI: 10.1051/forest:2001150

Marshall D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport // Plant Physiology. 1958. Vol. 33. Iss. 6. P. 385-396. DOI: 10.1104/pp.33.6.385

Meiresonne L., Nadezhdina N., Čermák J., Slycken J. Van, Ceulemans R. Measured sap flow and simulated transpiration from a poplar stand in Flanders (Belgium) // Agricultural and Forest Meteorology. 1999. Vol. 96. Iss. 4. P. 165-179. DOI: 10.1016/S0168-1923(99)00066-0

Meiresonne L., Sampson D.A., Kowalski A.S., Janssens I.A., Nadezhdina N., Čermák J., Slycken J. Van, Ceulemans R. Water flux estimates from a Belgian Scots pine stand: a comparison of different approaches // Journal of Hydrology. 2002. Vol. 270. Iss. 3-4. P. 230-252. DOI: 10.1016/S0022-1694(02)00284-6

Miralles D.G., Jeu R.A.M. De, Gash J.H., Holmes T.R.H., Dolman A.J. Magnitude and

for sapflow measurements in pine and spruce. *Annals of Forest Science*, 2001, vol. 58, no. 6, pp. 625-638. DOI: 10.1051/forest:2001150

Marshall D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. *Plant Physiology*, 1958, vol. 33, iss. 6, pp. 385-396. DOI: 10.1104/pp.33.6.385

Meiresonne L., Nadezhdina N., Čermák J., Slycken J. Van, Ceulemans R. Measured sap flow and simulated transpiration from a poplar stand in Flanders (Belgium). *Agricultural and Forest Meteorology*. 1999. Vol. 96. Iss. 4. P. 165-179. DOI: 10.1016/S0168-1923(99)00066-0

Meiresonne L., Sampson D.A., Kowalski A.S., Janssens I.A., Nadezhdina N., Čermák J., Slycken J. Van, Ceulemans R. Water flux estimates from a Belgian Scots pine stand: a comparison of different approaches. *Journal of Hydrology*, 2002, vol. 270, iss. 3-4, pp. 230-252. DOI: 10.1016/S0022-1694(02)00284-6

Miralles D.G., Jeu R.A.M. De, Gash J.H., Holmes T.R.H., Dolman A.J. Magnitude and variability of land evaporation and its components at the global scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, vol. 15, iss. 3, pp. 967-981. DOI: 10.5194/hess-15-967-2011

Monteith J.L. Evaporation and environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 1965, vol. 19, pp. 205-234.

Nadezhdina N., Čermák J., Ceulemans R. Radial patterns of sap flow in woody stems of dominant

variability of land evaporation and its components at the global scale // Hydrology and Earth System Sciences. 2011. Vol. 15. Iss. 3. P. 967-981. DOI: 10.5194/hess-15-967-2011

Monteith J.L. Evaporation and environment // Symposia of the Society for Experimental Biology. 1965. Vol. 19. P. 205-234.

Nadezhdina N., Čermák J., Ceulemans R. Radial patterns of sap flow in woody stems of dominant and understory species: scaling errors associated with positioning of sensors // Tree Physiology. 2002. Vol. 22. Iss. 13. P. 907-918. DOI: 10.1093/treephys/22.13.907

O'Grady A.P., Eamus D., Hutley L.B. Transpiration increases during the dry season: patterns of tree water use in eucalypt open-forests of northern Australia // Tree Physiology. 1999. Vol. 19. Iss. 9. P. 591-597. DOI: 10.1093/treephys/19.9.591

Oltchev A., Čermák J., Gurtz J., Tischenko A., Kiely G., Nadezhdina N., Zappa M., Lebedeva N., Vitvar T., Albertson J.D., Tatarinov F., Tischenko D., Nadezhdin V., Kozlov B., Ibrom A., Vygodskaya N., Gravenhorst G. The response of the water fluxes of the boreal forest region at the Volga's source area to climatic and land-use changes // Physics and Chemistry of the Earth. 2002a. Vol. 27. Iss. 9-10. P. 675-690. DOI: 10.1016/S1474-7065(02)00052-9

and understory species: scaling errors associated with positioning of sensors. *Tree Physiology*, 2002, vol. 22, iss. 13, pp. 907-918. DOI: 10.1093/treephys/22.13.907

O'Grady A.P., Eamus D., Hutley L.B. Transpiration increases during the dry season: patterns of tree water use in eucalypt open-forests of northern Australia. *Tree Physiology*, 1999, vol. 19, iss. 9, pp. 591-597. DOI: 10.1093/treephys/19.9.591

Oltchev A., Čermák J., Gurtz J., Tischenko A., Kiely G., Nadezhdina N., Zappa M., Lebedeva N., Vitvar T., Albertson J.D., Tatarinov F., Tischenko D., Nadezhdin V., Kozlov B., Ibrom A., Vygodskaya N., Gravenhorst G. The response of the water fluxes of the boreal forest region at the Volga's source area to climatic and land-use changes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2002a, vol. 27, iss. 9-10, pp. 675-690. DOI: 10.1016/S1474-7065(02)00052-9

Oltchev A., Čermák J., Nadezhdina N., Tatarinov F., Tischenko A., Ibrom A., Gravenhorst G. Transpiration of a mixed forest stand: field measurements and simulation using SVAT models. *Boreal Environment Research*, 2002b, vol. 7, no. 3, pp. 389-397.

Phillips N., Oren R., Zimmermann R. Radial patterns of xylem sap flow in non-, diffuse- and ring-porous tree species. *Plant, Cell and Environment*, 1996, vol. 19, iss. 8, pp. 983-990. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1996.tb00463.x

Oltchev A., Čermák J., Nadezhdina N., Tatarinov F., Tischenko A., Ibrom A., Gravenhorst G. Transpiration of a mixed forest stand: field measurements and simulation using SVAT models // Boreal Environment Research. 2002b. Vol. 7. No. 3. P. 389-397.

Phillips N., Oren R., Zimmermann R. Radial patterns of xylem sap flow in non-, diffuse- and ring-porous tree species // Plant, Cell and Environment. 1996. Vol. 19. Iss. 8. P. 983-990. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1996.tb00463.x

Phillips N.G., Ryan M.G., Bond B.J., McDowell N.G., Hinckley T.M., Čermák J. Reliance on stored water increases with tree size in three species in the Pacific Northwest // Tree Physiology. 2003. Vol. 23. Iss. 4. P. 237-245. DOI: 10.1093/treephys/23.4.237

Shackel K.A., Johnson R.S., Medawar C.K., Phene C.J. Substantial errors in estimates of sap flow using the heat balance technique on woody stems under field conditions // Journal of the American Society for Horticultural Science. 1992. Vol. 117. Iss. 2. P. 351-356. DOI: 10.21273/JASHS.117.2.351

Tatarinov F., Kučera J., Cienciala E. The analysis of physical background of tree sap flow measurement based on thermal methods // Measurement Science and Technology. 2005. Vol. 16. No. 5. P. 1157-1169. DOI: 10.1088/0957-0233/16/5/016

Phillips N.G., Ryan M.G., Bond B.J., McDowell N.G., Hinckley T.M., Čermák J. Reliance on stored water increases with tree size in three species in the Pacific Northwest. *Tree Physiology*, 2003, vol. 23, iss. 4, pp. 237-245. DOI: 10.1093/treephys/23.4.237

Shackel K.A., Johnson R.S., Medawar C.K., Phene C.J. Substantial errors in estimates of sap flow using the heat balance technique on woody stems under field conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1992, vol. 117, iss. 2, pp. 351-356. DOI: 10.21273/JASHS.117.2.351

Tatarinov F., Kučera J., Cienciala E. The analysis of physical background of tree sap flow measurement based on thermal methods. *Measurement Science and Technology*, 2005, vol. 16, no. 5, pp. 1157-1169. DOI: 10.1088/0957-0233/16/5/016

Tikhova G.P., Pavlov A.G., Pridacha V.B., Sazonova T.A. The new hybrid method for measuring transpiration sap flows in trees. *Sibirskij Lesnoj Zurnal [Siberian Journal of Forest Science]*, 2017, no. 4, pp. 78-90. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.15372/SJFS20170407

Tuzet A., Perrier A., Leuning R. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. *Plant, Cell and Environment*, 2003, vol. 26, iss. 7, pp. 1097-1116. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2003.01035.x

Tuzet A., Perrier A., Leuning R. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration // Plant, Cell and Environment. 2003. Vol. 26. Iss. 7. P. 1097-1116. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2003.01035.x

Urban J., Rubtsov A.V., Urban A.V., Shashkin A.V., Benkova V.F. Canopy transpiration of a Larix sibirica and Pinus sylvestris forest in Central Siberia // Agricultural and Forest Meteorology. 2019. Vol. 271. P. 64-72. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.02.038

Verbeeck H., Steppe K., Nadezhdina N., Beeck M Op de., Deckmyn G., Meiresonne L., Lemeur R., Čermák J., Ceulemans R., Janssens I.A. Stored water use and transpiration in Scots pine: a modeling analysis with ANAFORE // Tree Physiology. 2007. Vol. 27. Iss. 12. P. 1671-1685. DOI: 10.1093/treephys/27.12.1671

Wang H., Tetzlaff D., Soulsby C. Hysteretic response of sap flow in Scots pine (Pinus sylvestris) to meteorological forcing in a humid low-energy headwater catchment // Ecohydrology. 2019. Vol. 12. Iss. 6. E2125. DOI: 10.1002/eco.2125

Zang D., Beadle C.L., White D.A. Variation of sap flow velocity in Eucalyptus globulus with position in sapwood and use a correction coefficient // Tree Physiology. 1996. Vol. 16. Iss. 8. P. 697-703. DOI: 10.1093/treephys/16.8.697

Urban J., Rubtsov A.V., Urban A.V., Shashkin A.V., Benkova V.F. Canopy transpiration of a Larix sibirica and Pinus sylvestris forest in Central Siberia. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, vol. 271, pp. 64-72. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.02.038

Verbeeck H., Steppe K., Nadezhdina N., Beeck M Op de., Deckmyn G., Meiresonne L., Lemeur R., Čermák J., Ceulemans R., Janssens I.A. Stored water use and transpiration in Scots pine: a modeling analysis with ANAFORE. *Tree Physiology*, 2007, vol. 27, iss. 12, pp 1671-1685. DOI: 10.1093/treephys/27.12.1671

Wang H., Tetzlaff D., Soulsby C. Hysteretic response of sap flow in Scots pine (Pinus sylvestris) to meteorological forcing in a humid low-energy headwater catchment. *Ecohydrology*, 2019, vol. 12, iss. 6, e2125. DOI: 10.1002/eco.2125

Zang D., Beadle C.L., White D.A. Variation of sap flow velocity in Eucalyptus globulus with position in sapwood and use a correction coefficient. *Tree Physiology*, 1996, vol. 16, iss.8, pp. 697-703. DOI: 10.1093/treephys/16.8.697

Zeppel M.J.B., Murray B.R., Barton B., Eamus D. Seasonal responses of xylem sap velocity to VPD and solar radiation during drought in a stand of native trees in temperate Australia. *Functional Plant Biology*, 2004, vol. 31, iss. 5, pp. 461-470. DOI: 10.1071/FP03220

Zeppel M.J.B., Murray B.R., Barton B., Eamus D. Seasonal responses of xylem sap velocity to VPD and solar radiation during drought in a stand of native trees in temperate Australia // Functional Plant Biology. 2004. Vol. 31. Iss. 5. P. 461-470. DOI: 10.1071/FP03220

Zhil'tsov A.S. *Gidrologicheskaya rol' gornykh khvoino-shirokolistvennykh lesov Yuzhnogo Primor'ya [The hydrological role of mountain coniferous-deciduous forests of Southern Primorye]*. Vladivostok: Publ. Dal'nauka, 2008. 331 p. (In Russian)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ

ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

УДК 504.1:504.9

DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.533

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ РЕК ДЛЯ МОЛЕВОГО СПЛАВА

А.Ю. Виноградов[1,2], Т.А. Виноградова[1,3], М.М. Кадацкая[1], С.И. Сазонова[1], С.В. Хвалёв[1]

[1]ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай, Россия; [2]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург, Россия; [3]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

gd@npogtp.ru

Аннотация. В работе рассматривается вопрос о влиянии молевого сплава на экологическое состояние малых рек и их водосборов. Проведён анализ обстоятельств, которые привели к запрету молевого сплава, а также последствий этого решения для природы и человека.

Оценены основные моменты как положительного, так и отрицательного влияния молевого сплава и предложены конкретные меры по сни-

ENVIRONMENTAL IMPACT OF USING SMALL RIVER FOR LOG DRIVING

Alexey Yu. Vinogradov[1,2], Tatiana A. Vinogradova[1,3], Mariya M. Kadatskaya[1], Svetlana I. Sazonova[1], Sergey V. Hvalev[1]

[1]Scientific and Industrial Research Association Gidrotehproekt, Valday, Russia;[2]Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russia; [3]St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

gd@npogtp.ru

Abstract. The paper considers the issue of the log diving effect on the ecological status of small rivers and their catchments. There are analyzed the circumstances leading to the prohibition of the log driving and the consequences of this decision for nature and man.

The main points of both positive and negative effects of the log driving are evaluated and specific steps are proposed for reducing the chemical and mechanical pollution of

жению химического и механического загрязнения водных объектов. Сделан общий вывод о том, что вред экосистемам от молевого сплава не столь велик, как принято считать. Предложен конкретный план мелиоративных работ с целью улучшения рекреационных возможностей малых рек, очищения воды, улучшения состояния лесного фонда за счёт уменьшения подтопления территории.

Затронутая проблема касается как состояния малых рек, так и будущего лесозаготовительной отрасли и связанного с этим развития отдалённых районов, которые в настоящее время испытывают большие демографические и экономические проблемы. Приведённые авторами аргументы показывают, что в изменившейся экономической ситуации запрет молевого сплава экономически не выгоден и даже вреден. Он препятствует дальнейшему развитию территорий Русского Севера, Сибири и Дальнего Востока. Гипотетический вред, наносимый природе молевым сплавом, не сравним с теми последствиями, которые отмечаются в результате запустения огромной территории России. На сегодняшний день наблюдается хронический упадок экономики, деградация демографической ситуации и социально-культурной инфраструктуры. Катастрофическая ситуация складывается последние десятилетия в демографии Зауральских регионов и других районах Сибири. К сожалению, огромное количество рудников и горно-обогатительных комбинатов,

water bodies. A general conclusion is made that the damage to ecosystems from log driving is not as great as is it commonly believed. There is proposed specific reclamation plan with the aim of improving the recreational capabilities of small rivers, purifying water, improving the condition of the forest stock by reducing the flooding of its territory.

The affected problem concerns both the condition of small rivers and the future of the logging industry and the related development of outlying areas that are currently experiencing large demographic and economic problems. The arguments presented by the authors show that in a nowadays economic situation, the prohibition of log driving is economically disadvantageous and even harmful. It impedes the further development the territories of the Russian North, Siberia and the Far East. The hypothetical damage to nature by log driving is not comparable with the consequences that cause as a result of the desolation of the huge territory of Russia. There are a confirmed decline in the economy, the come-down of the demographic situation and socio-cultural infrastructure today. Over the past decades the catastrophic situation has developed in the demography of the Trans-Ural regions and other regions of Siberia. Unfortunately, the great number opened in recent decades

Vinogradov A.Yu., Vinogradova T.A., Kadatskaya M.M., Sazonova S.I., Hvalev S.V. Environmental impact of using small river for log driving. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 4, pp. 533-554 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.533

открытых в последние десятилетия, не рассчитаны на постоянное проживание местного населения. Посёлки при таких предприятиях имеют временный статус. Для спасения положения остаётся только лесозаготовительная и лесоперерабатывающая отрасль. Поэтому комплексный подход к проблеме молевого сплава может способствовать новому этапу развития удалённых территорий.

Ключевые слова: молевой сплав; малые реки; загрязнение окружающей среды; лесозаготовительная отрасль; экологическое состояние малых рек; водосбор.

mines and processing plants are not designed for constant abode of the population. Settlements near such enterprises have a temporary status. Only the logging and wood processing industry can save this situation. So, an integrated approach to the problem of log driving can facilitate a new development stage of outlying areas.

Keywords: log driving; small river; environmental pollution; logging industry; ecological status of small rivers; water catchment.

Введение

Последние десятилетия принята аксиома, что использование молевого сплава наносит непоправимый ущерб окружающей среде. Уже в 7-9 классах средней школы учащимся преподают информацию [География, 2018] о том, что молевой сплав относится к нерациональному природопользованию[1] и отравляет реки. Рассмотрим эту проблему подробнее и оценим, отвечает ли запрет на него современным экологическим и экономическим требованиям.

Нерациональное природопользование – потребительское использование природных ресурсов, приводящее к их истощению и образованию большого количества отходов, ухудшению экологической обстановки и, как следствие, ухудшению качества жизни населения[2].

Оценим задачу с разных точек зрения, в первую очередь экологии и гидрологии суши.

---

[1] 10 примеров рационального и нерационального природопользования [Электронный ресурс] // Школьные Знания.com - Решаем домашнее задание вместе. URL: https://znanija.com/task/17785702 (дата обращения: 20.11.2019). Каталог заданий. Задания для подготовки [Электронный ресурс] // ЕГЭ−2020, география: задания, ответы, решения. Обучающая система «РЕШУ ЕГЭ» Дмитрия Гущина. URL: https://geo-ege.sdamgia.ru/test?theme=%20154/ (дата обращения: 23.11.2019).

[2] Рациональное и нерациональное природопользование – примеры [Электронный ресурс] // Geostudy.ru – география и географические науки. URL: http://geostudy.ru/natureuse.html (дата обращения: 21.11.2019)

Экология – это наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания [Панин, Сечин, Федосова, 2014]. При этом мы имеем в виду, что «любые воздействия никогда не являются эссенциальными по отношению … к природной среде…» [Брюхань, Брюхань, Потапов, 2010], то есть всегда в той или иной степени изменяют её.

Гидрология суши – наука, изучающая поверхностные воды (в нашем контексте – реки), явления и процессы в них протекающие [Брюхань, 2011]; изучающая природные процессы и явления на земной суше, происходящие с водой, в воде или с участием воды, … включая сферы гидрохимии и гидробиологии [Виноградов, 2019].

На сегодняшний день мы имеем полный запрет молевого сплава по любым рекам России. Решение о запрете молевого сплава вводилось поэтапно. 25 сентября 1987 года Постановлением Совмина РСФСР № 384 было принято решение «О прекращении молевого сплава на реках и водоёмах РСФСР». Статьёй №48 действующего Водного кодекса Российской Федерации от 03.06.2006 года «…молевой сплав древесины на водных объектах запрещается».

Поскольку «в гидрологии суши … имеем два исходных основных понятия: водоёма и водосбора» [Великанов, 1948], то подобный запрет сказывается везде.

Экология водосбора

1. Первая компонента экосистемы речного бассейна – человек, как субъект экологического цикла на водосборе

Основное направление хозяйственной деятельности сельских населённых пунктов Русского Севера, Сибири и Дальнего Востока ранее было ориентировано на лесозаготовительную отрасль, в силу расположения их на берегах рек. В зоне тайги сельское хозяйство никогда не было развито, а промышленные предприятия были массово закрыты в последние десятилетия, равно как и большинство инфраструктурных объектов.

«Один только запрет молевого сплава привёл к кризису в лесосплаве в целом, из-за чего рухнула вся лесная промышленность»[3]. Отсутствие рабочих мест приводит к экономической стагнации и угнетению популяции человека на рассматриваемых территориях.

На сегодня в Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах (13 230 тыс. км^2) проживает около 37,5 миллионов человек.

[3] Харитонов В.Я. Возродим лесосплав - поднимем лесную промышленность [Электронный ресурс] / Лесные новости. № 15. 27 августа 2007 г. // Пресса Архангельской области. URL: http://arhpress.ru/lesnov/2007/8/27/11.shtml (дата доступа: 15.10.2019).

Для сравнения, в приграничной с дальневосточными российскими регионами динамично развивающейся китайской провинции Хэйлунцзян (454 тыс. км^2) проживает более 38 миллионов человек.

При этом считается, что соседство с бурно развивающимся Китаем, при весьма плачевных экономических и демографических показателях Зауральских регионов России, ставит вопрос о проблеме обеспечения национальной безопасности нашей страны[4].

То есть всего один, казалось бы, такой ничтожный шаг, как запрет молевого сплава, ведёт к экспансии со стороны агрессивного соседа.

Что касается демографии Зауральских регионов, то ситуация последние десятилетия действительно складывается катастрофическая.

Количество населённых пунктов с числом жителей более 100 человек, где можно восстанавливать какое-либо производство, сократилось за последнюю четверть века на 25% (таблица 1).

Таблица 1. Число сельских населённых пунктов с числом жителей более 100 чел[5]

Table 1. The number of rural settlements with a population of over 100 people

Годы	1959	1970	1989	2002	2010	2019
Количество населённых пунктов, тыс.	114,0	91,2	60,0	55,2	50,9	45

В то же время количество безработных на 100 вакансий в таких регионах Сибирского федерального округа, как Республика Тыва составляет 1648 человек, Республика Алтай – 1004 человека, Новосибирская область – 291 человек, Томская область – 281 человек, Иркутская область – 196 человек[6].

[4] Структура занятости населения Сибири в свете реформирования пенсионного законодательства: Доклад, представленный на круглом столе «Структура занятости населения Сибири в свете реформирования пенсионного законодательства», прошедшем в Барнауле 18 мая 2019 г. [Электронный ресурс] // Информационное агентство Красная Весна. URL: https://rossaprimavera.ru/article/1ae786f1 (дата доступа: 25.10.2019).

[5] Число сельских населенных пунктов и поселков городского типа продолжает снижаться [Электронный ресурс] // Демографические итоги первого полугодия 2011 года (часть I) / Демоскоп weekly № 475-476 29 августа-11 сентября 2011. URL: http://www.demoscope.ru/weekly/2011/0475/barom03.php (дата обращения: 15.11.2019)

[6] Структура занятости населения Сибири в свете реформирования пенсионного законодательства: Доклад, представленный на круглом столе «Структура занятости населения Сибири в свете реформирования пенсионного законодательства», прошедшем в Барнауле 18 мая 2019 г. [Электронный ресурс] // Информационное агентство Красная Весна. URL: https://rossaprimavera.ru/article/1ae786f1 (дата доступа: 25.11.2019).

В относительно благополучной Новосибирской области при среднем уровне официальной безработицы в 1996 г. в размере 2,3%, число безработных в сельской местности достигало 28% [Фадеева, 2001], по другим данным – до 25% [Тюгашев, Попков, 1996].

Можно констатировать, что реальная безработица превышает официальную в 10 и более раз.

На 2018 год: «рост безработицы в Новосибирской области … составил 6,7%»[7]. Исходя из этих цифр, можно предположить, что реально в области безработный каждый второй житель. Следовательно, в соседних, более депрессивных, регионах Зауральских округов ситуация складывается ещё хуже.

В этом ключе следует осмыслить сложившееся положение и предложить какие-то реальные выходы из данной ситуации.

На сегодняшний день восстановление жизни в этой природной зоне можно связывать в первую очередь с добычей и обогащением рудных и топливных полезных ископаемых, а также лесной отраслью.

К сожалению, большинство рудников и горно-обогатительных комбинатов, открытых в последние десятилетия, не рассчитаны на постоянное проживание местного населения. Посёлки при таких предприятиях имеют временный статус.

Для спасения положения остаётся только лесозаготовительная и лесоперерабатывающая отрасль.

В структуре валового регионального продукта (далее – ВРП) наиболее развитого в промышленном отношении Уральского федерального округа лесное хозяйство в 2013 году занимало всего 2%, что составляло 5% от добычи полезных ископаемых.

Если к концу 80-ых годов прошлого века СССР занимал второе место в мире по экспорту древесины, уступая первенство лишь США, то в результате экономических реформ Россия переместилась на 7 место в мире по этому показателю. Общая картина по объёмам лесозаготовок в Сибири за последние 90 лет представлена в таблице 2.

Таблица 2. Объёмы лесозаготовок[8], млн. м^3 [Кириллов, Липин, Соколов, 2009]

Table 2. Logging volumes, mln. m^3 [Kirillov, Lipin, Sokolov, 2009]

Годы	1913	1925	1940	1960	1968	1998	2000	2003
Объёмы заготовок	3,9	3,6	52	91	120	23	39	43

[7] Хмелевская О. Жить стало сложнее: в Новосибирской области выросла безработица [Электронный ресурс] // Новосибирск Онлайн. 17 июля 2018 г. URL: https://news.ngs.ru/more/65157441/ (дата обращения: 15.11.2019).
[8] Там же

Известно, что с распадом СССР российский лесопромышленный комплекс оказался в «глубоком структурно-экономическом кризисе, последствия которого не преодолены и до сегодняшнего дня» [Шегельман, 2008]. «Достаточно сказать, что в 1980-е гг. лишь одна Иркутская область заготовляла древесины в 1,5 раза больше, чем в настоящее время вся Сибирь»[9].

Следовательно, лесозаготовительной и лесоперерабатывающей отраслям есть куда развиваться.

Но это развитие полностью зависит от наличия дорожной инфраструктуры.

Одна из основных причин медленного освоения территорий зоны тайги Русского Севера, Сибири и Дальнего Востока – слабое развитие дорожной сети. Даже в Европейской части страны, где плотность автодорог наиболее высокая, она не превышает 1,7 погонных метра на гектар (дороги всех категорий, включая федеральные), а в среднем по стране – 0,85 погонных метра на гектар[10] (региональные и местные дороги IV-V категорий и ведомственные).

В целом, статистика за последние годы выглядит следующим образом (таблица 3):

Таблица 3. Протяжённость федеральных и региональных дорог всех категорий в России, тыс. км[11]

Table 3. The length of federal and regional roads of all categories in Russia, thousand km

Годы	1990	2004	2008	2013	2018
Протяжённость, тыс. км	592	598,6	570,7	553,5	564,7

Как видно из таблицы 3, при недостаточной первоначальной плотности дорог в России убыль федеральных и региональных дорог всех категорий за 10 лет (2004-2013 гг.) составила 7,5%.

Увеличение протяжённости дорог в последние годы позволяет надеяться, что тенденция сломлена, однако, из-за высокой стоимости и большой трудоёмкости их

[9] Суходолов А Лесные ресурсы Сибири и эффективность их использования // Наука в Сибири. 2001. № 23(2309)
[10] О перспективах развития сети автомобильных дорог на территории Российской Федерации (к «правительственному часу» в рамках 368-го заседания Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, 25 февраля 2015 года) [Электронный ресурс] / Аналитический вестник № 3 (556) Февраль 2015 // Аналитическое управление Аппарата Совета Федерации Федерального собрания Российской Федерации. URL: http://council.gov.ru/media/files/41d53c2113ce9d34213a.pdf (дата обращения: 23.11.2019)
Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. URL: www.gks.ru/free_doc/new_site/business/trans-sv/t2-2.xls (дата обращения: 15.11.2019)
[11] Там же

строительства, трудно рассчитывать на увеличение темпов строительства автодорог общего пользования.

Более того, согласно [Соколова и др., 2016] число дорог, не соответствующих нормативным требованиям, за период с 2010 по 2014 год выросло с 59 до 73%!

Таким образом, приходится мириться с тем, что путей для перевозки заготовленной древесины нет и в обозримом будущем не будет.

В СССР лесозаготовка была организована достаточно эффективно: по малым и средним рекам осуществлялся молевой сплав, далее по крупным речным артериям производился плотовой сплав до перерабатывающего предприятия, чаще всего расположенного в устье реки.

Запрет молевого сплава привёл к серьёзным проблемам у лесозаготовителей. С 1965 по 2010 годы объёмы лесосплава упали в 16 раз [Гайсин, 2016]. В 60-е годы прошлого века по рекам сплавлялось до 60% всей заготовленной древесины, причём из этого объёма более 80% – молевым сплавом, около 15% – в сплотке и менее 4% на судах [Гайсин, 2016].

Лесозаготовительные организации Севера и Зауралья оказались отрезанными от транспортных артерий, а огромная часть лесного фонда оказалась изолированной от потребителя. В этих регионах объёмы сплава и, как следствие, объёмы лесозаготовок упали до минимума.

2. Вторая компонента экосистемы речного бассейна зоны тайги – лес

Лесосырьевые базы, примыкающие к существующей дорожной сети, имеют постоянный переруб расчётной лесосеки. Низкополнотные насаждения, образовавшиеся в результате перерубов, подвержены ветровалам; почвы, в результате уменьшения транспирации, переувлажняются, происходит заболачивание, что приводит к окончательной гибели древостоя. Последнее приводит к нарушению водного баланса территории, увеличению скорости прохождения волны половодья и, как следствие, приводит к наводнениям. В период межени уровень грунтовых вод падает, происходит смена видов лесной растительности и животных.

В местах, где отсутствуют дороги (95% лесного фонда в рассматриваемых территориях Русского Севера, Сибири и Дальнего Востока), спелая и перестойная древесина выпадает на месте, что способствует распространению болезней, более тяжёлым последствиям от пожаров и так далее.

Принимая во внимание принцип нерасточительного природопользования, страна недобирает около 700 млн. $м^3$ древесины в год, что позволило бы создать дополнительно около 100 тыс. рабочих мест и обеспечить 500 млрд. руб. дополнительных поступлений в бюджет.

Резюме

Изменение экосистем, отсутствие рабочих мест в отдалённых районах привело к массовому оттоку населения с сельских территорий России. Внутренняя миграция в стране приобрела поистине катастрофические размеры и этот процесс губителен для всей экономики страны.

По данным Росстата показатели внутренней миграции увеличиваются: если в 2006 году 1,9 миллиона человек сменили место жительства, то в 2011 их количество составило уже 3 миллиона, а в 2016 – 4,2 миллиона. В оставляемых регионах наблюдается хронический упадок экономики, деградация социально-культурной инфраструктуры, что ведёт к дальнейшему обострению социально-экономических проблем и представляет серьёзную угрозу в будущем. Учёный-демограф Ю. Крупнов, лауреат премии президента России в области образования, в прошлом – помощник полномочного представителя президента России в Дальневосточном федеральном округе, заявил, что «неостановимый и неконтролируемый рост Москвы» и ряда других городов-миллионников «на фоне опустынивания, обезлюдения и скукоживания остальной территории России превратился за последние полвека в главную опасность и проблему страны»[12].

3. Третья компонента экосистемы речного бассейна – река

Чтобы оценить воздействие на экологическую систему реки, обратимся к формальному поводу запрета на проведение молевого сплава.

Повод. «В результате воздействия молевого лесосплава и допускаемых при этом грубых нарушений водного законодательства резко снижается или полностью прекращается жизнедеятельность рек. Особенно большой ущерб наносится рыбному хозяйству и питьевому водоснабжению. Даже после очистки воды качество её не соответствует ГОСТу»[13].

Таким образом, повод к запрету молевого сплава – механическое и химическое загрязнение рек отходами лесосплава:

---

[12] Россия: Массовая внутренняя миграция угрожает будущему страны [Электронный ресурс] / Общество // ИноСМИ – Все, что достойно перевода. URL: https://inosmi.ru/social/20171016/240526196.html (дата обращения: 15.11.2019)

[13] Постановление Совета Министров РСФСР от 25.09.1987 № 384 «О прекращении молевого сплава леса на реках и других водоемах РСФСР». М., 1987.

1. Справедливо считается, что при молевом сплаве некоторая часть древесины теряется в процессе движения от верхнего лесосклада к месту выборки сплавленной древесины из русла реки. Доля потерь при этом оценивается в 5% от общего количества сплавляемой древесины или более 10 млн. $м^3$ (по нашей оценке, не менее 50 млн $м^3$) за период 1925-1985 гг. [Мурашова, 2007].

2. Аварии на гидротехнических сооружениях и транспорте.

3. Выделение вредных веществ из гниющей древесины.

Рассмотрим эти негативные факты последовательно.

Механическое воздействие на реку

При молевом сплаве древесины по большим и средним рекам потери объективно существуют. Можно спорить об их количестве, с помощью различных технологий пытаться их минимизировать, но это реальный факт. При потерях же мы всегда будем иметь в различном количестве то или иное вредное воздействие.

Брёвна со слабой плавучестью препятствуют движению судов, способствуют образованию заломов, которые перекрывают нерестовые пути рыб, а скопление древесной составляющей на дне (кора, опилки, топляки) способствует выделению вредных веществ из разлагающейся древесины.

На наш взгляд, транспортировку лесоматериалов по большим и средним рекам к крупным перевалочным базам (Игарка – до 1,5 млн. $м^3$/год, Архангельск, Мурманск, Осетрово и др.) можно и нужно осуществлять посредством судовых перевозок или в сплоточных единицах – плотах прямоугольной формы, состоящих из одного или нескольких рядов[14].

Подобные перевозки потребуют воссоздания и содержания судов различных классов (река и река-море), малого ледокольного флота. На сегодняшний день инфраструктура, судостроительная, ремонтная и образовательные базы речного флота полностью разрушены. Работа по их восстановлению даст колоссальный толчок к развитию регионов и должна быть внесена в перечень первоочередных перспективных национальных проектов. Однако до мест берегового складирования на средних и крупных реках заготовленную древесину тоже надо каким-то образом доставить!

[14] ГОСТ 16032-70. Лесосплав. Термины и определения. М., 1970.

Соглашаясь с запретом молевого сплава по большим и средним рекам, мы предлагаем разрешить молевой сплав по малым.

Дадим определение малой реки. Малые реки[15], которые рассматриваются как транспортные пути для лесосплава, имеют площади водосбора до 2000 км^2, длину 100-150 км и в своём нижнем течении имеют следующие морфометрические характеристики:

- ширина – до 30 м по бровкам русла;
- средняя глубина – в межень не более 1 м, в паводок – около 4 м в русловой части;
- скорость течения – в межень 0,1-0,2 м/с; в паводок – до 0,6 м/с.

В среднем течении все эти характеристики уменьшаются в 3 раза, в верхнем – на порядок.

Малые реки накладывают на лесосплав свои ограничения.

- Судоходство на малых реках невозможно.
- Лесосплав в сплоточных единицах – плотах прямоугольной формы, состоящих из одного или нескольких рядов[16], в традиционном виде невозможен.

На малых реках возможны следующие виды сплавов:

- Молевой, с ограничениями по длине сортимента в верхнем и среднем течении малых рек.
- В микропучках – сплоточная единица цилиндрический формы из параллельно расположенных круглых лесоматериалов, соединённых пучковыми обвязками[17], объёмом не более 2 м^3 как рекомендовано в [Харитонов, Посыпанов, 2007], с ограничениями по длине сортиментов.
- Сплав однорядных плотов из сплоточных единиц плоской сплотки, в зависимости от морфологических особенностей реки, возможен с ограничениями по длине сортиментов и объёму пучка, как рекомендовано в [Гайсин, 2016].

Уместно разобрать вышеприведённые возражения по поводу использования молевого сплава в современных условиях на малых реках.

Гидротехнические сооружения на них отсутствуют, речной транспорт тоже. Следовательно, помех подобный лесосплав никому оказывать не будет.

Внешние экономические условия для хозяйствующих субъектов в середине прошлого века и сейчас кардинально отличаются.

---

[15] ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М., 1988.
[16] ГОСТ 16032-70. Лесосплав. Термины и определения. М., 1970.
[17] Там же

Раньше потери заготовленной, учтённой и уже оплаченной государством древесины были выгодны, предприятие могло таким образом списать утерянную и похищенную древесину, приписки и злоупотребления своих же работников среднего и высшего звена.

В нынешней же экономической ситуации собственник заготовленной древесины борется за доставку потребителю каждого кубометра. Во-первых, он уже оплатил попенную плату государству, во-вторых, себестоимость заготовки и трелёвки в труднодоступных делянках достаточно велика.

Исходя из этого, собственник сплавляемой древесины постарается проконтролировать движение каждой единицы уже оплаченного им сортимента по руслу реки. К тому же, следует учесть, что если потери древесины на крупных и средних реках объективно неизбежны, то на малых реках подобный контроль вполне можно обеспечить.

При этом необходим ответственный подход к оценке оптимальных размеров сплавляемого сортимента, правильная подготовка лесосплавных путей, учёт водного режима малых рек лесной зоны.

Химическое воздействие на реку

Известно, что в результате анаэробного (подводного) гниения древесины в воду попадают токсичные вещества. Максимальную площадь соприкосновения с водой имеет кора деревьев (таблица 4). В коре содержится слаборастворимые водой с нейтральной реакцией гидрофильные экстрактивные вещества: лигнин, минеральные компоненты, и нерастворимые – целлюлоза и суберин [Азаров, Буров, Оболенская, 1999]. Гидролизуемые танины и частично целлюлоза могут растворяться в воде с выраженной кислой реакцией, которая характерна для болотных рек. Щелочная реакция воды (предгорные реки) способствует растворению полифенольных кислот, частично лигнина и целлюлозы.

Таблица 4. Площадь поверхности сортимента в зависимости от длины, м^2

Table 4. Assortment surface area depending on length, m^2

средний диаметр сортимента, м	площадь поверхности, м^2		суммарная площадь среза, м^2
	3	5,5	
0,05	0,94	1,73	0,02
0,1	1,88	3,45	0,06
0,2	3,77	6,91	0,25

Наиболее опасными из экстрактивных веществ являются фенолы, предельно допустимая концентрация которых в природных водах составляет 0,001 мг/л.

При этом экстрагирование водой из древесины вредных веществ возможно только при длительном их нахождении в воде. «Полное вымывание вредных веществ происходит в течение 110 суток» [Мурашова, 2007]. Количество выделенных фенольных соединений зависит также от температуры воды и породы древесины.

Кроме того, воздействие плавающей древесины на химический состав воды зависит от загруженности реки.

Многолетние исследования Государственного научно-исследовательского института озёрного и речного рыбного хозяйства и Санкт-Петербургского лесотехнического университета доказали, что критерием безвредности лесосплава для экологического равновесия водоёма является отношение объёмов древесины и воды во время лесосплава 1:250 и более, при котором не создаётся неблагоприятных условий для обитания и развития гидробионтов[18]. Для гидробионтов безвредны растворы при соотношении древесины и воды 1:500, для лососёвых 1:150 [Мурашова, 2007].

При индивидуальном учёте всей сплавляемой древесины можно просчитать предельно возможное соотношение сплавляемой древесины и паводковых вод для наиболее чувствительных, лососёвых, рыб (таблица 5).

Таблица 5. Объем сплавляемой древесины в сутки в зависимости от среднего расхода воды
Table 5. The volume of floated wood per day, depending on the average water rate

расход воды, м^3/с	0,5	1	3	2	5	10	15
объём, м^3/сут	8	31	275	122	764	3057	6879

Простое соблюдение сроков нахождения древесины в воде (таблица 6) может существенно снизить степень загрязнения.

Таблица 6. Средние сроки сплава по малой реке при среднем расстоянии сплава 100 км
Table 6. Average times of wood's rafting in a small river with an average distance of 100 km

средняя скорость течения, м/с	0,1	0,2	0,5	1
количество дней сплава	23	12	5	2

[18] Сплав леса: перезагрузка [Электронный ресурс] // Лесной комплекс: Отраслевой журнал для специалистов лесозаготовки, деревообработки, лесопатологии и лесовосстановления. URL: https://forestcomplex.ru/2018/06/splav-lesa-perezagruzka/ (дата обращения: 16.11.2019)

На основании анализа сроков сплава на малых реках, даже в условиях межени, можно сделать однозначный вывод – изменения качества воды за период сплава не будет; количественного и качественного изменения видового состава водной флоры и фауны не произойдёт.

Кроме того, надо учитывать положительные факторы проведения молевого сплава. В.Я. Харитонов пишет: «Есть у молевого сплава и достоинство – его способность увеличивать кормовую базу для рыб. Установлено, что с прекращением молевого сплава улов рыб на ряде рек существенно уменьшился»[19].

Увеличение кормовой базы происходит за счёт того, что в коре сплавляемых деревьев присутствуют личинки насекомых. За счёт сплава расширяются береговые границы, образуются дополнительные места для нагула рыб.

И наконец, последний аргумент. Нами было обследовано около 10 погонных километров малых рек в Новгородской области. Площадь поверхности топляка, попавшего в русловую часть от естественных причин – ветровала, заломов (рисунок 1) и подмыва рекой берегов, составляет по экспертной оценке 18-24 $м^2$ на 100 погонных метров реки.

Это превышает 1,5 тыс. $м^3$ топляка на каждую малую реку, длиной более 100 км. Представьте себе лесозаготовителя, который в нынешних экономических условиях пожертвовал бы 1,5 тыс. кубометров леса при транспортировке с каждого верхнего склада?

Необходимо учесть и бобровые плотины (рисунок 2), количество которых на малых реках Русского Севера достигает 2-5 на каждые 10 погонных км в верхнем течении с учётом притоков, что создаёт дополнительную нагрузку на реку.

Объёмы торфа и почвы (рисунок 3), ежегодно смываемые малыми реками в период половодья и паводков, в среднем составляют 0,5 $м^3$/100 м. При содержании водорастворимых веществ 2-4% [Русчев, 1976] ежегодно в воду малых рек попадает дополнительно до 10 тонн растворенных вредных веществ. Только за счёт этого концентрация фенолов в реке во время половодья достигает 0,1% ПДК.

[19] Харитонов В.Я. Возродим лесосплав – поднимем лесную промышленность [Электронный ресурс] / Лесные новости. № 15. 27 августа 2007 г. // Пресса Архангельской области. URL: http://arhpress.ru/lesnov/2007/8/27/11.shtml (дата доступа: 15.10.2019).



Рисунок 1. Река Порусья, Новгородская область. Заломы в русле. Фото А.Ю. Виноградова

Figure 1. Porusia River, Novgorod Region. Logjam in channel. Photo by A.Yu. Vinogradov



Рисунок 2. Река Деготница, Новгородская область. Бобровые плотины. Фото С.В. Хвалева

Figure 2. Degotnitsa River, Novgorod Region. Beaver dams. Photo by S.V. Khvalev



Рисунок 3. Река Полисть, Новгородская область. Половодье 2017 года.
Видны множественные обрушения кромки левого берега. Фото А.Ю. Виноградова
Figure 3. Polist River, Novgorod Region. Flood of 2017 year.
You can see multiple edge landslide of the left bank. Photo by A.Yu. Vinogradov

Организация и проведение молевого сплава подразумевает мелиорацию русла малой реки [Транспорт леса¸ 2009].

Мелиоративные мероприятия состоят из следующих видов работ:

- очистки русла и берегов от ветровальных деревьев и карчей, удаления русловых образований (гряд, побочней, осередков и др.);
- спрямления извилин и излучин русла, включая возможные берегоукрепительные работы;
- берегоочистительных работ.

Русловая мелиорация приведёт к улучшению рекреационных возможностей малых рек, к очищению воды, улучшению состояния лесного фонда за счёт уменьшения подтопления территории.

На основании анализа всего вышесказанного можно сделать следующий вывод.

В последние десятилетия произошла ликвидация целого ряда связанных с поднятой проблемой отраслей:

- машиностроительной;
- судостроительной;

- лесозаготовительной и лесоперерабатывающей;
- образовательной;
- инфраструктуры, обслуживающей эти виды народного хозяйства.

Результатом этого стало появление на отечественном рынке машиностроительных и лесозаготовительных западных компаний, скупки ими лесосырьевых баз по заниженной цене, катастрофического уменьшения занятости населения в глубинке и, как следствие, его вымирание или отток в города.

Возвращаясь к вышеприведённому сравнению между развитием Зауральских территорий и Китаем, обращает на себя внимание следующий факт.

ВРП на душу населения за 2016 год на рассматриваемых территориях России колеблется от 367 (Сибирский федеральный округ) до 767 (Уральский федеральный округ) тыс. руб[20]. ВРП же Китайской провинции Хэйлунцзян за этот же год составил 14 тыс. руб[21].

Превосходство ВРП в 40 раз в пользу России и отличия в уровне и качестве жизни на сравниваемых территориях заставляет задуматься о причинах такой ситуации, но в данном случае такой анализ выходит за рамки нашего исследования.

Если в настоящее время хозяйственной деятельностью охвачено менее 3% площадей лесного фонда рассматриваемых регионов, то использование малых рек для транспортировки древесины даст возможность использовать ещё 55-60% площадей, примыкающих к рекам, при среднем расстоянии трелёвки до 1,5 км. Более 95% сельских поселений рассматриваемых регионов смогут начать новую жизнь.

Известна аксиома: влияние деятельности человека на окружающую среду «можно считать удовлетворительной лишь в том случае, если диапазон изменения природных антропогенных факторов не превышает пределов приспособляемости живых организмов» [Корпачев и др., 2008]. В настоящее время налицо явное превышение пределов приспособляемости к жизни на водосборе таких живых организмов, как сам человек.

---

[20] Валовой региональный продукт на душу населения по субъектам Российской Федерации в 1998-2017 гг. // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/storage/mediabank/VRP98-17.xlsx (дата обращения: 15.11.2019)

[21] Валовый региональный продукт провинций Китая [Электронный ресурс] // Экономика и население стран, регионов, городов, исторические данные. URL: http://statinformation.ru/reg/vrp-regionov-kitaya.html (дата обращения: 15.11.2019)

Президент Российской Федерации В.В. Путин считает, что «распад Советского Союза … произошёл из-за неэффективной экономической политики»[22]. Во многом это верно. Чтобы подобная катастрофа не имела место в дальнейшем, экономическую политику надо менять.

Один из реальных шагов в этом направлении – восстановление рабочих мест путём внедрения молевого сплава на малых реках Русского Севера, Сибири и Дальнего Востока.

И последнее: в соответствии с поручением Председателя Правительства Российской Федерации Д.А. Медведева от 11.09.2019 № ДМ-П36-7717 подготовлен проект постановления Правительства[23], согласно которому с 1 февраля 2020 года признается утратившим силу постановление Совета Министров РСФСР от 25 сентября 1987 г. № 384 «О прекращении молевого сплава леса на реках и других водоёмах РСФСР». точка. Казалось бы, лёд тронулся. Здравый смысл наконец-то возобладал над международной конъюнктурой.

Однако, этот запрет законодательно закреплён и в Водном кодексе.

Выводы

1. В результате запрета на молевой сплав по малым рекам общая экологическая обстановка на водосборе, как и качество воды в реках, кардинально ухудшились.
2. Восстановление молевого сплава на малых реках потребует проведения русловой мелиорации. Последняя подразумевает обязательную очистку дна и берегов от топляка и ветровала, срезку подмываемых участков, что приведёт к улучшению качества воды.
3. Организация дистанционно-патрульного способа лесосплава отдельных сортиментов по предварительно мелиорированной и разделённой на дистанции реке не ухудшит экологического состояния реки и водосбора.
4. Проведение молевого сплава на малых реках – единственный способ транспортировки заготовленной древесины в условиях Русского Севера, Сибири и Дальнего Востока.
5. В современных условиях необходим новый подход к поднятым вопросам, учитывающий, что вред, наносимый окружающей среде от использования тяжёлого автотранспорта в виде выбросов в атмосферу выхлопных газов, разрушения дорог и мостов, вырубки лесов вблизи существующей дорожной сети, с одновременным выпадением

---

[22] Путин назвал причины распада Советского Союза [Электронный ресурс] // БИЗНЕС Online — Новости Казани, Татарстана, общество, политика, рейтинги, эксперты. URL: https://www.business-gazeta.ru/news/446835 (дата обращения: 01.12.2019)

[23] Проект Постановления Правительства РФ "О признании утратившими силу актов Российской Федерации и РСФСР и их отдельных положений" (по состоянию на 08.11.2019) (подготовлен Минюстом России, ID проекта 01/01/11-19/00096931)

перестойных лесов из-за отсутствия возможности транспортировки, не сравним с возможным вредом от молевого сплава.

6. Комплексный подход к проблеме молевого сплава будет способствовать новому этапу развития удалённых территорий. Необходимо рассматривать каждую малую реку не просто как транспортную артерию, а как живой объект со своей флорой и фауной, со своими гидрологическими особенностями, разрабатывать и внедрять новые технологии сплава. В этой связи, учитывая современные экологические требования, необходимо актуализировать ГОСТ 17.1.3.01-76 Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны водных объектов при лесосплаве.

7. Невзирая на сложившееся мнение о вредном воздействии молевого сплава на экосистемы малых рек, на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что данный стереотип необходимо немедленно ломать.

Литература

Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вызов. СПб: СПбЛТА, 1999. 628 с.

Брюхань А.Ф., Брюхань Ф.Ф., Потапов А.Д. Инженерно-экологические изыскания для строительства тепловых электростанций. М.: МГСУ: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2010. 191 с.

Брюхань Ф.Ф. Науки о Земле: учебное пособие для студентов. М.: Форум, 2011. 191 с.

References

Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov: uchebnik dlya vyzov [Chemistry of wood and synthetic polymers: a textbook for a challenge]*. St. Petersburg, Publ. of the St. Petersburg Forestry Academy, 1999. 628 p. (In Russian).

Bryukhan' A.F., Bryukhan' F.F., Potapov A.D. *Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva teplovykh elektrostantsii [Environmental engineering surveys for the construction of thermal power plants]*. Moscow, Publ. of Associations of Construction Universities, 2010. 191 p. (In Russian).

Bryukhan' F.F. *Nauki o Zemle: uchebnoe posobie dlya studentov [Earth Sciences: a textbook for students]*. Moscow, Forum, 2011. 191 p. (In Russian).

Великанов М.А. Гидрология суши. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1948. 530 с.

Виноградов Ю.Б. Думы о гидрологии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 4. С. 555-589.
DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.555

Гайсин И.Г. Обоснование параметров технологии выгрузки плоских сплоточных единиц с воды. Дисс. … канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2016. 166 с.

География. 8 класс: учеб. для общеобразоват. организаций / А.И. Алексеев, В.В. Николина, Е.К. Липкина и др. М.: Просвещение, 2018. 255 с.

Кириллов А.К., Липин А.С., Соколов В.А. Лесной комплекс // Историческая энциклопедия Сибири: в 3 т. Том 2. Буквы К-Р. / Гл. ред. В.А. Ламин. Новосибирск: Издательство Историческое наследие Сибири, 2009. 808 с.

Корпачев В.П., Малинин Л.И., Чебых М.М., Рябоконь Ю.И., Пережилин А.И. Влияние затопленной и плавающей древесной массы на

Fadeeva O.P. Neformal'naya zanyatost' v sibirskom sele [Informal employment in a Siberian village]. *Ekonomicheskaya sotsiologiya: elektronnyi zhurnal [Economic Sociology: an electronic journal]*, 2001, vol. 2, no. 2, pp. 61-93. Available at: URL: https://clck.ru/LnHof (In Russian).

Gaisin I.G. Obosnovanie parametrov tekhnologii vygruzki ploskikh splotochnykh edinits s vody Diss. kand. tekhn. nauk [Justification of the technology parameters for unloading flat raft units from water. Ph. D. (Technical) Thesis.]. Yoshkar-Ola, 2016. 166 p. (In Russian).

Geografiya. 8 klass: ucheb. dlya obshcheobrazovat. organizatsii [*Geography*. Grade 8: a textbook for educational institutions] by A.I. Alekseev, V.V. Nikolina, E.K. Lipkina et al. Moscow, Publ. Prosveshchenie, 2018. 255 p. (In Russian).

Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Opyt vnedreniya edinogo transportnogo paketa vmesto molevogo lesosplava [Experience of Introducing Transport Package instead of Drift Floating]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2007, no. 1, pp. 45-52. (In Russian; abstract in English).

Kirillov A.K., Lipin A.S., Sokolov V.A. Lesnoi kompleks [Forest complex]. In Lamin V.A. (ed.) *Istoricheskaya entsiklopediya Sibiri: v 3 t. Tom 2. Bukvy K-R [Historical Encyclopedia of Siberia: in 3 volumes. Volume 2. Letters K-R]*. Novosibirsk, Publ. Istoricheskoe nasledie Sibiri, 2009. 808 p. (In Russian).

Korpachev V.P., Malinin L.I., Chebykh M.M., Ryabokon' Yu.I., Perezhilin A.I. Vliyanie zatoplennoi i plavayushchei drevesnoi massy na vodnye ob"ekty [The effect of

водные объекты // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 3-4. С. 340-343.

Мурашова О.В. Гидродинамические характеристики лесосплавных плоских сплоточных единиц: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2007. 19 с.

Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология: учебник для вузов / Под ред. В.Ф. Панина. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 327 с.

Русчев Д.Д. Химия твердого топлива. Л.: Химия, 1976. 256 с.

Соколова Н.А., Любезнова Н.А., Дубинка К.Ю., Леонов С.Н. Нормативное регулирование в строительстве и проектирование автомобильных дорог Российской Федерации // Евразийский союз ученых. 2016. №4-2(25). С. 122-124.

Транспорт леса. В 2 т. Т. 2. Лесосплав и судовые перевозки: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.М. Овчинников, В.П. Полищук, Г.В. Григорьев. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 208 с.

Тюгашев Е.А., Попков Ю.В. Противоречия Российской безработицы /

flooded and floating wood pulp on water bodies]. *Khvoinye boreal'noi zony [Conifers of the boreal zone]*, 2008, vol. 25, no. 3-4, pp. 340-343. (In Russian).

Murashova O.V. *Gidrodinamicheskie kharakteristiki lesosplavnykh ploskikh splotochnykh edinits. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Hydrodynamic characteristics of flat alloy rafting units. Ph. D. (Technical) Thesis]*. Arkhangel'sk, 2007. 19 p. (In Russian).

Panin V.F. (ed.), Sechin A.I., Fedosova V.D. *Ekologiya: uchebnik dlya vuzov [Ecology: a textbook for universities]*. Tomsk, Publ. of Tomsk Polytechnic University, 2014. 327 p. (In Russian).

Ruschev D.D. *Khimiya tverdogo topliva [Chemistry of solid fuels]*. Leningrad, Publ. Chemistry, 1976. 256 p. (In Russian).

Shegel'man I.R. *Lesnye transformatsii (XV-XXI vv.) [Forest transformations (15th-21th centuries)]*. Petrozavodsk, Publ. of Petrozavodsk State University, 2008. 240 p. (In Russian).

Sokolova N.A., Lyubeznova N.A., Dubinka K.Yu., Leonov S.N. Normativnoe regulirovanie v stroitel'stve i proektirovanie avtomobil'nykh dorog Rossiiskoi Federatsii [Normative regulation in construction and design of highways of the Russian Federation]. *Evraziiskii soyuz uchenykh [Eurasian Union of Scientists]*, 2016, no. 4-2(25), pp. 122-124. (In Russian).

Transport lesa. V 2 t. T. 2. Lesosplav i sudovye perevozki: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenii [Forest transport. In 2 vol. Vol. 2. Timber rafting and ship transport: a textbook for students. higher textbook. institutions] by Ovchinnikov M.M., Polishchuk V.P.,

Человек. Труд. Занятость: научно-практическое периодическое издание. 1996. Вып. 1. Новосибирск: изд. Ин-та философии и права СО РАН, 1996. С. 66-71.

Фадеева О.П. Неформальная занятость в сибирском селе // Экономическая социология: электронный журнал. 2001. Т. 2. № 2. С. 61-93. URL: https://clck.ru/LnHof (дата доступа: 23.11.2019).

Харитонов В.Я., Посыпанов С.В. Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава // Лесной журнал. 2007. №1. С. 45-52.

Шегельман И.Р. Лесные трансформации (XV-XXI вв.). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 240 с.

Grigor'ev G.V. Moscow, Academy Publ., 2009. 208 p. (In Russian).

Tyugashev E.A., Popkov Yu.V. Protivorechiya Rossiiskoi bezrabotitsy [Contradictions of Russian unemployment]. *Chelovek. Trud. Zanyatost': nauchno-prakticheskoe periodicheskoe izdanie [Man. Work. Employment: scientific and practical periodical]*, 1996, iss. 1. Novosibirsk, Publ. of Institute of Philosophy and Law SB RAS, 1996, pp. 66-71. (In Russian).

Velikanov M.A. *Gidrologiya sushi [Hydrology]*. Leningrad, Hydrometeorological publishing house, 1948. 530 p. (In Russian).

Vinogradov Yu.B. Thoughts about hydrology. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 4, pp. 555-589 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.555

НАСЛЕДИЕ

HERITAGE

УДК 556.011

DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.555

ДУМЫ О ГИДРОЛОГИИ

Ю.Б. Виноградов

gd@npogtp.ru

Аннотация. Vade mecum[1]

Послушай-ка. Если ты гидролог или собираешься стать им, то дай рассказать тебе правду об этой науке. О гидрологии. Конечно эта правда будет такой, какой она представляется мне. Но поверь, вряд ли в отношении раскрытия научных секретов у меня есть серьезные конкуренты. Но сначала хочу задать тебе несколько вопросов.

Какова судьба воды, упавшей с Неба на Землю? И если ты ответишь на этот вопрос, то ты – мастер удивительного.

Но ты знаешь, что воде присуще течение. Поэтому ответь – какими путями течет вода. И если ты готов ответить и на этот вопрос, то ты, уж наверняка, – мастер удивительного.

И вот еще. Что было бы, не будь на Земле воды? Что происходит на Земле при участии воды? Что происходит с водой за время ее пребывания на Земле? И если ты опять знаешь ответы, то воистину ты – мастер удивительного.

THOUGHTS ABOUT HYDROLOGY

Yurii B. Vinogradov

gd@npogtp.ru

Abstract. Vade mecum

Listen. If you are a hydrologist or going to become once of them, then let me tell you the truth about this science. About hydrology. Of course, this truth will be what it seems to me. But believe me, it’s unlikely that I have grave rivals regarding the disclosure of scientific secrets. But first, I want to ask you some questions.

What is the destiny of the water that fell from Heaven to Earth? And if you answer this question, then you are a master of the amazing.

But you know that flowing is inherent in water. Therefore answer - in what ways water flows. And if you are ready to answer this question, then you are certainly a master of the amazing.

And one more thing. What would happen if there were no water on Earth? What happens on Earth with the participation of water? What happens to water during its stay on Earth? And if you again know the answers, then truly you are a master of the amazing.

[1] Иди со мной (лат.)

А если случилось так, что ты затруднился с ответами, или ответил неуверенно, или в чем-то погрешил против истины и почувствовал это, то пойди со мной. И поверь, я тоже немного мастер удивительного.

Я напомню тебе о красоте этого Мира и его уязвимости. Об исключительной роли воды на Земле и проблемах, связанных с этой исключительностью. О том как важно и замечательно чувствовать и понимать все о воде.

Я поведаю тебе о людях, которые давали ответы на заданные тебе вопросы. И о людях, которые думали, что знают ответы. И о людях, которые отвечали, не зная ответов.

И еще я надеюсь, ты поймешь главное – только преданность делу и одержимость им смогут привести тебя к настоящему знанию. И только тогда ты сможешь стать подлинным мастером удивительного.

"Но довольно. Позволь мне приступить к делу. Позволь мне начать и позволь мне закончить"[2]

Ключевые слова: Гидрология; водоток; водосбор; науки о Земле; физическая гидрология; стохастическая гидрология; прикладная гидрология.

And if it so happened that you found it difficult to answer, or answered hesitantly, or in some way committed a sin against the truth and felt this, then come with me. And believe me, I'm also a little master of the amazing.

I will remind you about the beauty of this World and its vulnerability. About the exclusive role of water on Earth and the problems associated with this. About how important and wonderful it is to feel and understand everything about water.

I will tell you about the people who gave answers to the questions asked to you. And about people who thought they knew the answers. And about people who answered without knowing the answers.

And I also hope that you will understand the main thing – only devotion and obsession can lead you to real knowledge. And only then can you become a true master of the amazing.

"But enough. Let me get down to matter. Let me start and let me finish."

Keywords: Hydrology; watercourse; water catchment; Earth Science; physical hydrology; stochastic hydrology; applied hydrology.

[2] Марио Пьюзо. Пусть умирают дураки.

Читать означает «брать в долг»,
а сделать на основе этого открытия –
значит «уплатить долг»
Георг Кристоф Лихтенберг

Действительно ли, что гидрология
уже созданная наука?
Дж. Дуг, В поисках гидрологических законов

Введение

В предлагаемой вниманию читателей статье опубликованы главы из недописанной книги «Осознание гидрологии», над которой Юрий Борисович Виноградов работал последние годы жизни. В ней он с большой любовью и глубоким сопереживанием описал все достижения и проблемы, с которыми наша наука столкнулась в последние десятилетия.

Поскольку Юрий Борисович в своей профессиональной деятельности занимался многими разделами гидрологии, географии, гидрохимии, гидрогеологии и геологии, физики и математики, применительно к задачам гидрологии, то в данной статье рассмотрены вопросы взаимодействия, взаимопроникновения этих научных дисциплин.

Итак, на основании полувекового опыта Профессионал-гидролог пишет о Гидрологии…

Понятие о гидрологии, как о науке о воде, вряд ли можно считать устоявшимся и общепринятым.

В современном понимании гидрология – это наука,

- изучающая природные процессы и явления на земной суше, происходящие с водой, в воде или с участием воды, исключая (или не исключая?) сферы гидрохимии и гидробиологии;
- входящая в цикл наук о Земле;
- состоящая из двух частей – фундаментальной и прикладной.

Учение о стоке – главная содержательная часть гидрологии. Речной сток в широком смысле – природное явление перемещения свободной воды в пределах суши под действием гравитационных сил. Формирование стока – главный процесс наземной части гидрологического цикла, состоящий из множества частных процессов, происходящих в естественных природных образованиях, называемых речными бассейнами.

В настоящее время гидрология находится в неудовлетворительном состоянии. До сих пор не решены многие сущностные вопросы формирования стока. Вместе с развитием математического моделирования в гидрологии появились новые проблемы и тупики. Оптимизм или пессимизм при оценке состояния гидрологии в начале нового тысячелетия связан не столько с серьезными доводами, сколько с эмоциональным настроем некоторых гидрологов, рискнувших дать такую оценку.

Медленно, с трудом пробивающаяся гидрология нового поколения связана с математическим моделированием процессов формирования стока и появления современных вычислительных возможностей. Но здесь важен не сам факт использования компьютеров или термина «модель». И то, и другое входит в арсенал и традиционной гидрологии. Ведь в качестве результатов вычислений теперь можно получать громадные массивы цифр и любые графические построения без изменения сущностной части самих методов и подходов. Дело в появлении новых умонастроений, мировоззрений, подходов. Моделирование в тисках старой классической гидрологии в чем-то даже нелепо, хотя ее апологеты этого не замечают и оказывают ожесточенное сопротивление инакомыслию. Положение усугубляется тем, что появилось довольно распространенное течение, которое можно было бы назвать «злоупотребляющим моделированием». К сожалению, приходится признать, что научные силы современной гидрологии – это пока отнюдь не сообщество единомышленников.

Гидрология и науки о Земле

Гидрология и гидрогеология

Специфично отношение между гидрологией и гидрогеологией. С точки зрения аспектов теории, моделирования, расчетов, прогнозов, сложившееся отделение гидрогеологии от гидрологии – недоразумение. По своей сути – это единая наука. Но инженерная гидрология и инженерная гидрогеология по кругу решаемых задач отличаются друг от друга чрезвычайно. Поэтому изменить сложившуюся ситуацию очень сложно, а теперь уже, возможно, и нецелесообразно. Традиционно гидрогеология ближе примыкает к геологии, иногда организационно даже совмещена с ней. «Гидрогеология – дисциплина геологическая» [Гледко, 2012]. Столь же безапелляционно утверждение: «гидрогеология... – часть более обширной области знания – гидрологии» [Wiest, 1965].

Граница между гидрологией и гидрогеологией иллюзорна. Почвенный покров и первые метры толщи горных пород – это область повышенного интереса гидрологии и гидрогеологии одновременно. Хотя есть и некоторая разница:

- гидрологию ярусы подземных вод, в первую очередь, интересуют как емкости накопления воды и в разной степени замедленного ее истечения в русловую сеть речного бассейна;
- гидрогеология исследует распространение, формы залегания, запасы, режим и движение подземных вод.

Вообще же оба названные аспекта не чужды обеим наукам. И наконец, и гидрогеология, и гидрология сталкиваются с проблемой взаимодействия поверхностных и подземных вод, причем каждая дисциплина считает ее своей. Следует добавить, что гидрологию интересует и глубокий подземный сток. Она в какой-то мере теряет интерес только к подземным водам, залегающим ниже уровня моря.

Позиция гидрологов по отношению к гидрогеологии в двух словах может быть охарактеризована так: заинтересованное внимание. Предполагается и обратное.

В заключение этого небольшого раздела хочу отметить, что в свое время я обратился к работам гидрогеологов с целью восполнить свои представления о структуре и функционировании подземного гидрологического мира, но был жестоко разочарован, убедившись в отсутствии той информации, какую бы я мог посчитать для себя полезной и необходимой.

Гидрология и гляциология

Еще одна нелепость дальнейшей дезинтеграции и разграничения наук о Земле – это искусственно постепенно расширяющееся отчуждение гляциологии от гидрологии, пагубно сказывающееся на развитии обеих наук. В чем-то спасительным, но не в полной мере, является игнорирование некоторыми гидрологами и гляциологами преград, устанавливаемых любителями сепаратистских мудрствований, сказывающееся в том, что и те, и другие продолжают спокойно заниматься общими проблемами и задачами, вовсе не стремясь быть раскиданными по разным поименованным углам на самом деле единой науки. Оказалось, что клич о расхватывании суверенитетов является привлекательным и в околонаучных кругах.

Рассмотрим мнение гляциолога о причинах размежевания гидрологии и гляциологии: гляциология «…долгое время традиционно считалась частью гидрологии, однако в середине XX в. стало ясно, что проблемы и методы изучения твердой и жидкой воды существенно различны» и гляциология «превратилась в самостоятельную отрасль знания, лежащую на стыке географии, гидрологии, геологии и геофизики» [Гляциологический словарь, 1984]. Но, отделяясь от гидрологии, гляциологи не решились позаботиться о проведении

демаркационной линии между сферами этих двух наук. Видимо просто потому, что обоснованно это сделать просто невозможно. Но давайте посмотрим, что забрали с собой гляциологи, покидая гидрологию? Помимо ледников, – это снежный покров и снежные лавины, – лед морей, рек и водоемов. Но гидрологи никогда не делили свои научные интересы в зависимости от фазового состояния воды, полагая, что все это естественным образом входит в круг их обязанностей и интересов. Действительно, было бы смешно, если бы все мы метались из науки в науку при каждом случае фазовых переходов, случающихся с водой на этой планете.

Поэтому мы, гидрологи, продолжаем спокойно полагать снежный покров или ледовые явления на реках и все процессы их формирования и разрушения относящимися к сфере не только своих научных интересов, но и включать их в систему гидрологических расчетов и прогнозов. Кстати, проблема формирования стока в пределах ледниково-моренного комплекса и все проблемы, связанные с гляциальными селевыми потоками, остаются вполне гидрологическими.

Не чуждо гидрологии и существование многолетней мерзлоты и ее влияние на гидрологические процессы, хотя, по мнению гляциологов, мерзлота изучается геокриологией (мерзлотоведением), которая совместно с гляциологией составляет науку криологию [Гляциологический словарь, 1984].

Мне показалась любопытной небольшая полемика ортодоксального географа-гляциолога с гляциологами – сторонниками более широкого и глубокого проникновения физики в их науку (думаю не столько по существу, сколько по форме). Речь идет о репликах У.С.Б. Патерсона: «немногие физики, владеющие математикой, почти не ступавшие ногой на ледники, внесли в понимание предмета больше, чем сотни наблюдателей…» [Патерсон, 1984] и П.А. Шумского: «ледники представляют собой физические системы…, описываемые системой из 18 дифференциальных уравнений с частными производными» [Шумский, 1975]. «Такая мотивировка сводит географию и ее ветвь гляциологию к физике, а выявленные ею законы (в действительности географические) – к физическим законам и в соответствии с этим считает науку о ледниках частью науки о льде, а последнюю частью физики или, в лучшем случае, геофизики» [Кренке, 1982].

Все три позиции ничего кроме протеста у меня не вызывают. Сформулирую свое мнение о высказанных выше идеях.

1. Физические подходы в гидрологии и гляциологии следует всячески приветствовать и одобрять. И им не следует противопоставлять бессильную для математического описания природных процессов географию.

2. Заимствования из физики должны быть адекватными для описания гидрологических и гляциологических процессов и явлений. Многие используемые в этих науках уравнения математической физики таковыми не являются и вдобавок остаются информационно не обеспеченными.

3. Известная книга Паттерсона «Физика ледников» [Патерсон, 1984], в которой слово «гляциология» кажется, не присутствует вовсе, тем не менее, исключительно полезна именно для гляциологов.

4. Вряд ли следует считать гляциологию ветвью географии. Если это было бы так, то мы до сих пор не увидели бы многих достижений гляциологии.

5. Мне не понятно, почему некоторые гляциологи более родственно относятся к географии, чем к гидрологии, с которой у них должны быть (и в основном есть) общие концепции, методология и даже понимание необходимости привлечения географии, но только в рамках тех задач, которые она призвана и действительно может решать.

Теперь скажу несколько слов об общей территории приложения сил гидрологии и гляциологии. В принципе, можно представить два крайних варианта математических моделей гидрологических процессов в горно-ледниковых бассейнах.

В первом варианте моделируется весь набор известных процессов и явлений в зонах питания и абляции, таких как выпадение осадков, формирование снежного покрова, лавинный перенос, фирнизация снега, преобразование фирна в лед, течение льда, таяние сезонного снега и обнаженного льда, формирование ледникового и иного стока. При этом должны воспроизводиться наступление и отступание ледников, в том числе и их возможные катастрофические подвижки. Последние пока представляются трудноразрешимой проблемой из-за неполноценности наших представлений о природе «пульсаций» некоторых ледников и недостаточности фактических данных.

Во втором – моделируется формирование сезонного снежного покрова, его таяние и последующее таяние обнажившегося льда, в предположении постоянства наличия поверхности ледника определенной площади в зоне абляции.

Мне думается, что гляциологи первый вариант моделирования склонны были бы посчитать гляциологическим, а второй гидрологическим. Я же вижу в первом случае полноту модели, а во втором, наоборот, ее ограниченность, приводящую к более простому решению

задачи математического моделирования стока в бассейнах, в которых расположены и ледники. Для решения более широкого круга задач, таких, например, как оценка гидрологических последствий изменения климата или загрязнения речных бассейнов, несомненно, следует предпочесть модели первого варианта.

В заключение еще раз выражаю уверенность в том, что гидрология и гляциология по большому счету – единая наука.

Проблемы гидрологии

Разделы гидрологии

Взгляды на целесообразное подразделение гидрологии, как науки, довольно неоднозначны и бессистемны. Еще М.А. Великанов в свое время констатировал возможность двух принципиально различных классификаций разделов внутри гидрологии [Великанов, 1948]:

- по объектам (подземные воды, водоемы с замедленным стоком и бессточные);
- по процессам (вещество водоемов, водный баланс, движение водных масс, движение ложа водоемов).

Здесь следует иметь в виду некоторую особенность терминологии М.А. Великанова: понятие «водоем» он расширил и распространил помимо озер и болот, на реки (текучие водоемы), снежный покров и подземные воды. В какой-то мере этот подход использовал Б.А. Аполлов [Аполлов, 1963], но по вполне определенным причинам (в русском языке понятия водоема и водотока четко разделены [Даль, 1880; Щукин, 1980]) он воспринят не был. Считая эти классификации не очень рациональными, Великанов в своем курсе гидрологии суши «по мере надобности» использовал одновременно обе.

Довольно общеупотребительным является подразделение гидрологии по водным объектам – гидрология рек, озер, болот, почв, подземных вод, ледников. Вроде бы естественно и логично. Но не все так просто. Давайте рассмотрим эти разделы последовательно.

Гидрология рек. Это почти тавтология гидрологии суши или общей гидрологии. Я еще удивляюсь, почему никому не пришло в голову выделить гораздо более естественную «гидрологию речных бассейнов». И если вам выпала доля читать лекции по гидрологии рек, то вы находитесь в идиотском положении, ибо она практически неразделима с общей гидрологией.

Гидрология озер. Здесь ситуация сложнее, так как параллельно существующие термины – «озероведение» и «лимнология» – не являются её синонимами, поскольку

включают в себя множество специфических для лимнологии вопросов. Откройте, например, «Лимнологию» Д. Хатчинсона [Хатчинсон, 1969], и вы тут же убедитесь в этом. В чем-то подобна ситуация и с гидрологией болот, противопоставленной с «болотоведением». В последнем существуют аспекты, достаточно далекие от гидрологии, но конечно с ней связанные. Если мы отделили от гидрологии «гидробиологию» и, в какой-то мере, «гидрохимию», то для «лимнологии» и «болотоведения» это уже недопустимо.

Почвенная гидрология. Близкими определениями являются «учение о почвенной влаге» и в какой-то мере «физика почвы», так как в рамках почвенной гидрологии решаются и задачи теплообмена.

Подводя итог сказанному, названные разделы гидрологии следует постоянно иметь в виду, но не придавать им какого-нибудь самостоятельного значения. Вы скажете – ну а специфика? Ну что ж, учтите эту специфику в своем гидрологическом исследовании, этого будет достаточно.

Иногда некоторым важным аспектам гидрологии, как единой науки, соответствуют такие выделяемые крупные разделы, как:

- гидрометрия;
- гидрография;
- физическая гидрология [Dingman, 1994];
- стохастическая гидрология [Картвелишвили, 1981];
- прикладная гидрология [Линслей, Колер, Паулюс, 1962; Chow, 1964].

Я много размышлял о классификационных подходах к структуре гидрологии и пришел к выводу, что узаконивание различных «гидрологий» в конечном счете приносит больше вреда, чем пользы. И, в первую очередь, из-за расслоения мыслей самих авторов «узких гидрологий». Посмотрите сами – искусственно сужая круг своей науки, вы создаете себе иллюзию, что тем самым сокращаете ответственность за непрофессионализм за пределами этого круга. Но ведь можно специализироваться по какому-то узкому вопросу, не помещая при этом его в центр тяжести новой, угодной лично вам науки или ее раздела. Ведь это путь к ограниченности.

А вот любое полное, всестороннее и глубокое исследование должно включать в себя обсуждение следующих десяти главных аспектов, важных не только в рамках гидрологии, но и во всех науках о Земле:

1. Методологический (взаимосвязь, избирательность, доказательность методов, приемов и подходов).

2. Измерительный (приборы и способы измерения изучаемых величин).

3. Экспериментальный (проведение экспериментов и наблюдений).

4. Содержательный:

- физический (описание гидрологических процессов и явлений и их зависимости от универсальных законов природы);
- химический (описание гидрологических, гидрохимических процессов и загрязнения с учетом круговорота химических элементов и веществ);
- биологический (описание гидрологических, биохимических и биологических процессов в экосистемах и биомах).

5. Математический:

- детерминированный (способы описания гидрологических процессов и явлений);
- вероятностный (способы описания случайных гидрологических величин, процессов и полей).

6. Географический (обобщение и систематизация параметров моделей формирования стока и других гидрологических процессов и явлений по ландшафтам, природным зонам и конкретным территориям).

7. Исторический (реставрация гидрологического прошлого и прогнозы будущего, история гидрологии).

8. Экологический (специфическая ориентация возможностей гидрологии в решении задач охраны окружающей среды).

9. Прикладной:

- расчетный (ориентация методов гидрологии для нужд строительного и экологического проектирования);
- прогностический (использование гидрологических моделей для экстраполяции гидрологических процессов в будущее);
- социологический (восприятие и реализация гидрологических идей, подготовка кадров, научно-популярная литература).

10. Лексико-стилистический (научная терминология, толковые и языковые гидрологические словари, переводы гидрологической литературы, словарный запас языка и стиль изложения текстов статей и монографий в области гидрологии).

Фундаментальные науки присутствуют в гидрологии повсеместно, и упор на их влияние и использование зависит от природы проблем и избранной методологии. Специально следует отметить великую роль «царицы наук» – физики – в науках о Земле. Помимо того, что

существует физическая геология, физическая гидрология, физическая география, выделяется целый комплекс так называемых геофизических наук: в метеорологии это физика атмосферы, в океанологии – физика моря, в геологии – геофизика, в гидрологии – геофизика вод, переименованная в «гидрофизику». В чем-то подобно и «вторжение» химии и биологии в науки о Земле. Химия породила геохимию и гидрохимию (и обе они важны для гидрологии), а биология провела акцию «экологизации».

Науки о Земле, переплетаясь, или включают в круг своих интересов одни и те же природные процессы и явления (но всегда в чем-то ограниченные своей собственной спецификой), или же «создают» промежуточные отрасли науки.

Большинство границ между основными науками о Земле и их относительно самостоятельными отраслями условны, иллюзорны или даже придуманы. Приведу в качестве примера попытку размежевания научного пространства между геоморфологией и геологией. Предполагается, что геоморфология изучает земную поверхность, а геология – земные недра [Эдельштейн, 1938]. Геологи же никогда и не думали расставаться с поверхностью Земли. Этот пример может быть расширен: многие опасные гидрологические явления в горах одновременно считают своими и геологи, и геоморфологи, и географы.

Подводя итоги сказанному, констатирую, что гидрология имеет свои физические, химические, биологические, экологические, геологические, математические, географические, исторические аспекты. В заключение этого хочу обратить внимание гидрологов на тот непреложный факт, что хорошая осведомленность о полезных для развития гидрологии элементах всех перечисленных выше наук – это всего лишь необходимый базовый минимум.

Основные концепции гидрологии

Концепция, как система взглядов на процессы и явления и на причины, их обусловливающие, является необходимым элементом каждой науки. Поэтому ознакомление с набором концепций учения о стоке и гидрологии вообще дает возможность гидрологам получить упорядоченную информацию для размышлений о цельности, сущности и особенностях своей науки, а «негидрологам» – осознать, что кроется за понятием «гидрология». Итак, концепции:

1. О гидрологическом цикле. На понятии круговорота воды в природе, связывающем воедино всю систему наук о Земле, базируются основные представления гидрологии.

2. О наземной части гидрологического цикла. Постулируется единство последовательных процессов перемещения воды между моментами выпадения осадков на поверхность суши и попадания ее в Мировой океан.

3. О стоке воды. В основе физической сущности явления стока лежит определяющее свойство воды – ее текучесть. В гравитационном поле Земли это свойство заставляет воду непрерывно двигаться вплоть до ее попадания в Мировой океан. Но время и пути этого движения могут быть самыми различными.

4. О законах природы. Все процессы неживой природы, в том числе и гидрологические, подчиняются исключительно законам физики и химии. Претенциозны попытки ряда представителей наук о Земле сформулировать географические, геологические, гидрологические «законы». Эти несуществующие законы – только некие словесные констатации или утверждения.

5. О законах сохранения. Эти важнейшие универсальные физические законы отображены в гидрологии уравнениями водного и теплового баланса.

6. Об уклоне. Угол наклона местности, склонов, русел всегда непосредственно влияет на скорость любых движений и на величины, пропорциональные площади соприкосновения земной поверхности с атмосферой.

7. О речном бассейне. Это естественное дискретное природное образование, как гидрологическая форма организации рельефа суши, является местом развертывания процессов формирования стока.

8. О стоковом элементе. Это дискретное поверхностное или подземное образование есть природная форма самоорганизации оптимальных условий накопления и стекания воды на склонах речных бассейнов.

9. О стокоформирующем комплексе. Это специфическое наименование относительно однородной части территории речного бассейна с позиций учения о стоке. Стокоформирующий комплекс в некотором смысле соответствует терминам ландшафт, экосистема и биогеоценоз.

10. О роли воды в жизни экосистем. Вода с экологической точки зрения – один из основных лимитирующих факторов существования и функционирования любой экосистемы. Это и есть основной сущностный аспект необходимости экологической ориентации учения о стоке.

11. О формах скопления воды на суше. Явление стока сопровождается более или менее длительным задержанием воды в разного рода подходящих для этого элементах

структуры верхних слоев литосферы. Другая форма задержания воды на суше – это ее накопление в твердом состоянии. Среди форм скопления воды на суше – озера, болота, ледники, снежный покров, почвенные и подземные воды.

12. О взаимодействии подземных и поверхностных вод. Принципиально важно – стекает вода поверхностным или подземным путем. Иногда это только условность, но обычно за этим скрываются громадные динамические различия. Поэтому исключительно важны переходные процессы и явления.

13. О загрязнении. Процессы бассейнового загрязнения и формирования стока неразрывно связаны от начала и до конца.

14. Об опасных гидрологических явлениях. Если интенсивность процесса формирования стока превысит определенные пределы, то это прямо или косвенно приведет к опасным ситуациям и даже к катастрофам.

15. О роли воды в экзогенных геологических процессах. Почти все экзогенные процессы (выветривание, криогенные и карстовые явления, суффозия, солифлюкция, обвалы, оползни, селевые потоки, снежные лавины) связаны с косвенным, а чаще всего с прямым участием воды. Поскольку формальное разделение этих процессов на геологические и гидрологические практически невозможно, то последние естественнее всего считать общей областью приложения сил со стороны этих двух родственных наук – геологии и гидрологии.

16. Об экспериментальной гидрологии. Подлинные достижения в гидрологии и учении о стоке возможны только при слиянии возможностей экспериментального, вычислительного и теоретического их разделов.

17. О роли математики. Математическое описание дает самое четкое и ясное объяснение гидрологической реальности.

18. О математическом моделировании. Применение математики в науках о Земле основано на понятии математической модели. Адекватное природе полноценное математическое моделирование – это научный прорыв к новым возможностям гидрологии.

19. О детерминизме и стохастичности. Детерминизм и стохастичность должны совместно присутствовать в гидрологических теоретических построениях ровно настолько, насколько это необходимо. Наиболее удачным и полным их сочетанием несомненно является детерминированно-стохастическое моделирование. Однако, всегда следует иметь в виду, что содержательная часть гидрологии, то есть то, что отличает ее от других наук, целиком детерминирована. С другой стороны, статистические методы одинаково приложимы в любых науках.

20. О вероятности. Это основополагающее понятие теории вероятностей и математической статистики остается ценным и для гидрологии. Помимо прямых чисто стохастических методов, оно может оказаться необходимым и для сугубо детерминированных моделей.

21. О взаимодействии с другими науками о Земле. Гидрология и учение о стоке должны широко пользоваться концепциями, результатами и опытом всех наук о Земле. За их счет они должны расширять свои методические возможности и, в свою очередь, обогащать их гидрологическими знаниями и подходами. При этом представляется важным слежение за единством уровня всех наук и сходством их господствующих парадигм.

22. О взаимоотношении с географией. Географы пока не заметили новых открывающихся горизонтов своей науки – географической сущности некоторых параметров математических моделей учения о стоке и других наук о Земле. Многие из этих параметров имеют вполне определенный физический смысл и являются общими для гидрологии, физической геологии, почвоведения. В принципе, географические обобщения и систематизации своих параметров могут сделать и сами гидрологи.

23. О прикладной гидрологии. Прикладная гидрология, базируясь на понятиях, моделях и методах фундаментальной гидрологии, должна разрабатывать всякого рода пособия, рекомендации и руководства для практического использования в управлении водными ресурсами и при решении сельскохозяйственных, строительных, транспортных и других проблем.

24. О расчетах стока. Характеристики стока – носители обобщенной информации о гидрографах стока. Главная задача расчетов стока – построить эмпирические кривые распределения характеристик стока и аппроксимировать их аналитическими кривыми, а также наилучшим способом оценить параметры последних. Вторая по значимости задача – математически описать хронологические последовательности изменения характеристик стока. Косвенные методы оценки характеристик стока заданной вероятности в гидрологии на сегодняшний день развиты плохо. Перспективы решения проблемы связаны с детерминированно-стохастическим моделированием.

25. О прогнозах стока. В практике гидрологии обычно прогнозируются характеристики стока, гораздо реже сами гидрографы. Прогнозы могут быть однозначными (когда результатом прогноза является наиболее вероятная величина) или вероятностными (прогностический выход – условная кривая распределения этой величины). Кроме этого они различаются как краткосрочные, долгосрочные и сверхдолгосрочные. Основа прогноза – учет

состояния речных бассейнов на дату прогнозирования. Важное значение при этом имеют варианты учета прогноза погоды на период его заблаговременности.

26. О совмещении проблем расчетов и сверхдолгосрочных прогнозов. В условиях нестационарности ландшафтов и климата неизбежно изменение традиционного содержания расчетов и прогнозов стока. Решение проблемы представляется в последовательном осуществлении следующих действий:

- стохастическом моделировании погоды в условиях антропогенных изменений климата;
- детерминированном моделировании стока в условиях антропогенных преобразований ландшафтов;
- детерминированно-стохастическом моделировании и получении условных кривых распределения характеристик стока;
- анализе и трактовке результатов моделирования при оценках будущего состояния речных бассейнов.

Кроме основных концепций учения о стоке могут быть сформулированы многочисленные частные концепции, например:

- об адекватности моделируемых процессов природным;
- об алгоритмическом подражании природе;
- о предельности простоты математических аппроксимаций при описании процессов формирования стока, и т.п.

Возможности гидрологии

Роль гидрологии в жизни человека, часто недооцениваемая, исключительна. Эта исключительность обусловлена не особыми достоинствами гидрологов, а вполне объективными обстоятельствами – уникальными свойствами воды как химического вещества, являющегося главным компонентом всего живого и той среды, в которой мы способны обитать. Замечательные физические свойства воды таковы:

- максимальная плотность при температуре 3,98º С и меньшая плотность в твердой фазе по сравнению с таковой в жидкой (что приводит к замерзанию воды с поверхности водотоков и водоемов, препятствует их полному промерзанию, обеспечивает плавучесть льда);
- температуры замерзания и кипения, теплоемкость, теплопроводность, удельная теплота плавления и испарения, поверхностное натяжение – наиболее высокие по сравнению

с подавляющим большинством жидкостей (что играет определяющую роль в регулировании многих жизненных и природных процессов);

- необычно высока диэлектрическая проницаемость, приводящая к уникальной роли воды как растворителя (что придает воде ключевую роль в биологических и экологических явлениях и при вовлечении в ее круговорот в природе многих химических элементов и соединений).

«Природа жизненных процессов такова, что жизнь, вероятно, была бы невозможна, не будь у воды этих необычных свойств» [Полинг, Полинг, 1978].

Возможности гидрологии еще до конца не осознаны и не продуманы. Они поистине неисчерпаемы. Традиционно в рамках гидрологии изучался речной сток на планете (в основном как ключ к водным ресурсам) и в какой-то мере опасные гидрологические явления, но не все и не в полной мере. Но гидрология неизбежно должна расширять область своих интересов и своей ответственности, в том числе и там, где она пока себя еще не проявила, потому что и не пыталась это осуществить.

В целях осознания сказанного давайте проследуем по нашей планете вслед за водой. Там, где она присутствует, она динамична и придает возможность проявления дополнительной динамичности различным процессам и явлениям. И тогда гидрологи обязаны вмешаться в моделирование, разного рода расчеты, оценки и прогнозирование этих процессов и явлений.

Например, гидрологические модели должны быть непременным, а чаще всего основным, элементом моделей большинства экзогенных геологических процессов, динамики экосистем, функционирования сельскохозяйственных систем, в том числе и на орошаемых землях, загрязнения территорий… И все это, в том числе и в диагностическом плане, используется в вероятностных расчетах, прогнозировании, обосновании проектов, рекомендациях по предотвращению катастроф и оценке последствий непродуманных и ошибочных действий и мероприятий.

Множество у гидрологии и совместных дел с метеорологией – проблема осадков, стохастическое моделирование погоды для обеспечения входной информации детерминированных гидрологических моделей, рассмотрение динамики увлажнения подстилающей поверхности в моделях климата, оценка гидрологических последствий изменения последнего и многое другое.

Поистине велика роль гидрологии в жизни человека! Но человека разумного, ибо отнюдь не всегда мы оправдываем наименование своего биологического вида.

Гидрология и государство

«Глубокий политический, экономический и духовный кризис в России» и «все негативные стороны нашей жизни связаны с развалом системы управления и вторжением на все уровни управления малограмотных и бесчестных дилетантов» [Кнорринг, 2001]. И нашему государству оказались ненужными возделанные поля, работающие заводы, развивающаяся наука, бескорыстные медицина и просвещение. Что же в этой ситуации произошло с гидрологией? Подходящее слово – расправа. И самое страшное, что при этом о ней и не помышляли. Все было сделано походя. Вместе с другими науками-бедолагами. Печально, что соучастниками акции оказались и люди, которые по разным причинам должны бы были блюсти гидрометеорологию.

Для наук о Земле в целом, и гидрологии в частности, очень важна поддержка со стороны государства, ибо должны быть полностью реализованы возможности общества по развитию программ научных исследований в столь важной для него области, как все, что связано с ролью воды во всех ее проявлениях – от жизненной необходимости до прямой угрозы самой жизни. Это важная часть жизнеобеспечения – глобального, регионального, местного. Поэтому развитие гидрологии не есть частная научная проблема, интересующая только самих гидрологов. Более того, все по-настоящему определяется только возможностью сотрудничества науки и государства, ибо «стало очевидным, что недостаток общественной организации, образования, обучения и политической воли» является не менее, а может быть и более важным фактором, «чем недостаток научных знаний».

Наблюдающаяся в настоящее время в России со стороны государства невостребованность гидрологической мысли, переходящая почти в полное равнодушное игнорирование вот уже в течение последних двух десятков лет, привела к деградации национального корпуса гидрологов, как ученых, так и прикладников. Его восстановление, «лечение» и совершенствование будет длительным и дорогим удовольствием. Откладывать все на неопределенный срок ни одно цивилизованное государство не имеет ни права, ни возможности. Это было бы чревато гораздо более тяжкими последствиями.

А время и обстоятельства ставят перед гидрологией вроде бы и знакомые задачи, но все более в новых и непривычных формах, сочетаниях и усложненности. Но на эти запросы уже почти некому отвечать. Возникает некая всеми тщательно скрываемая ситуация – травмированное сообщество гидрологов уже практически не может стремительно адаптироваться к новым условиям, более того, оно почти утратило способность к разработке новых подходов, методов и технологий. Прикладная гидрология, которая обязана учитывать

видоизменяющуюся политическую, общественную и экономическую конъюнктуру в этом отношении остается пассивной. Естественно, что она не ставит соответствующих задач и перед фундаментальной гидрологией. Результат очевиден – застой науки и стремительный рост количества лжеученых, пытающихся «ловить рыбку в мутной воде» и предлагающих свои услуги потребителям, не способным различать качество предлагаемой «продукции».

Итак, современное российское общество гидрологов выглядит следующим образом: увеличение числа мнимых ученых, вымирание или перерождение профессионалов, резкое сокращение количества и качества молодых специалистов всех уровней. Пора бить в набат!

А теперь необходимо кратко остановиться на основных причинах нетерпимого положения с наукой в нашем Отечестве. Многие из них очевидны, поэтому я остановлюсь на более специфичных. Одна из причин недейственного управления наукой в России 21-го века – это противоречие между наследием, оставшемся от Советского Союза, и не очень ответственными и не очень профессиональными соображениями ряда быстро сменяющих друг друга лиц, принимающих решения на государственном уровне. В извращенных умах «реформаторов» российской науки господствует вовсе не стремление создать ей приоритетное положение в жизни общества, а наоборот, идея освободить государственный бюджет от ее бремени. И вроде бы никому невдомек (по неведению или по умыслу), что тем самым будет вызвана непоправимая катастрофа. Другими словами, такая близорукая, если не сказать больше, политика в отношении науки, безусловно, наносит сокрушительный удар по будущему России, отбрасывая ее окончательно в разряд слабо развитых стран.

И наконец, обнародую на первый взгляд кощунственную мысль: вероятно в теле нашей Науки существуют своего рода «криминальные структуры», сознательно борющиеся за захват финансируемого научного и околонаучного пространства. И против этого пока нет ни законов, ни иных способов противодействия. Но криминал есть криминал, и здесь я лишь развожу руками.

Теперь я бы хотел обратить внимание на некую очевидность и привести в данном контексте две злободневные цитаты.

«Запасы сырья и энергии увеличивать невозможно. Они постепенно уменьшаются. Лишь человеческая мысль является тем источником, который тем больше отдает, чем больше из него черпают... Поэтому знания – наш самый обильный, самый важный и самый ценный источник». Феликс Р. Патури. Зодчие XXI века.

«...С какой же скаредностью ума и средств, и в каком беспорядке мы сегодня ведем исследования, хотя и прославляем науку и пользуемся ее благами! Думали ли мы когда-нибудь серьезно об этой ситуации нищеты?»

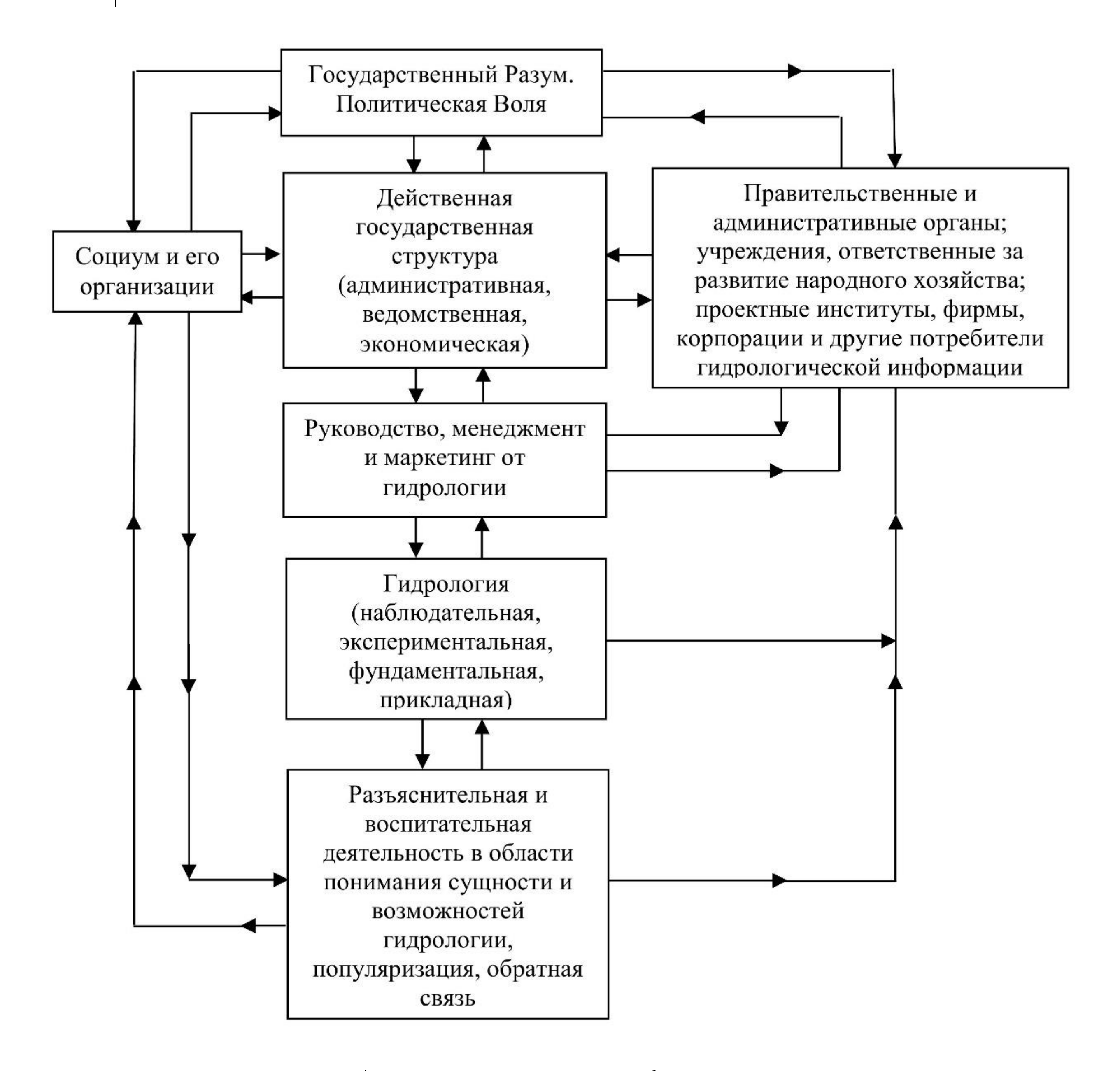
«На исследования во всем мире в течение года выделяется меньше денег, чем на строительство одного крейсера! Не окажутся ли правы наши правнуки, когда посчитают нас варварами?» Пьер Тейяр де Шарден. Феномен человека.

Склонив головы перед удручающей картиной скаредности Минфина и олигархии и нищеты служителей гидрологии, попробуем представить себе логичную структуру взаимодействия гидрологии и государства в условиях современной политической и экономической жизни страны со всеми ее демократическими принципами управления общественным и частным производством. Функции руководителя научного учреждения значительно усложнились. Теперь он обязан думать не только об организации и проведении научно-исследовательской работы в своем учреждении, но и постоянно решать перспективные, стратегические вопросы и многое другое. Одновременно он должен быть и хорошим менеджером, то есть профессиональным управляющим, человеком, обладающим специальными знаниями, особым талантом и определенными навыками в искусстве управления деятельностью в определенной области науки, в нашем случае в гидрологии.

Я сознательно не использую привычное слово «директор», ибо последний, по традиции, одновременно должен быть и ученым. В этом его сила и его слабость. Редкий директор института способен сохранять объективность и принципиальность при организации и управлении научными исследованиями, так как сознательно или нет, но действует все-таки в соответствии со своими сепаратистскими вкусами.

Итак, возникает необходимость появления своего рода научного менеджмента, как управление решением фундаментальных научных проблем и задач, и на этой базе созданием необходимых прикладных технологий, постоянно модернизируемых и дополняемых. Параллельно сразу должна быть организована и система мероприятий по изучению возникающего спроса на соответствующую научную продукцию и активному воздействию с элементами «воспитания» на возможных потребителей такой продукции (по сути дела – научный маркетинг).

Ниже приведена блок-схема, компактно иллюстрирующая возможное целесообразное взаимодействие гидрологии с государством и обществом. Любой серьезный сбой в этой системе ведет к непоправимым последствиям.



Наше восприятие гидрологических катастроф

Существуют территории, не предназначенные для постоянного пребывания человека в их пределах, ибо они время от времени подвергаются прямому воздействию опасных природных явлений, в том числе и гидрологических. Но зачастую такие территории оказываются по разным причинам как раз очень привлекательными для освоения и даже заселения. И опасность их использования при этом просто-напросто игнорируются.

Что мешает удерживать людей от пребывания на опасных территориях? Во-первых, неверие обывателя в реальную опасность столь якобы далеких и редких событий. Во-вторых, полное отсутствие осведомленности о возможных опасных явлениях, порожденной неполнотой или искажением информации. В-третьих, оказавшиеся несостоятельными более

ранние прогнозы и предупреждения. В-четвертых, отсутствие взаимопонимания между населением и властями разного калибра по причине непрофессионализма при предупредительных и спасательных мероприятиях, а также промедлений и уклонений при организации экстренной помощи или выплатах компенсаций.

Очень важно понимать, что настоящая опасность исходит не от природы и ее стихий, а от преступного равнодушия, глупости, алчности и неосведомленности человека, обитающего среди природных явлений без оглядки на них и спохватывающегося лишь тогда, когда грянет гром. Такое положение вещей многократно усугубляет последствия природных катастроф.

На этапе распада Государства защищенность от опасных явлений резко падает. Подобный распад наступает, когда его правящий слой теряет «лучших людей» (термин Питирима Сорокина) и заполняет пустоту чиновничеством – «особой социальной группой, … нацеленной лишь на свои корыстные интересы вместо общенародных и легко меняющей политическую окраску к своей выгоде» [Мягков, 2000].

В нашей стране восприятие государством природных катастроф приобрело следующую специфическую форму: выражена внешняя готовность государственных структур реагировать на их последствия, но столь же отчетливо выражено уклонение от:

- проведения фундаментальных и прикладных научных исследований опасных природных, в том числе и гидрологических, явлений, создания методов их расчета и прогноза;
- содержания и расширения наблюдательной сети, ведущей метеорологические и гидрологические наблюдения, и слежение за специфическими проявлениями опасных гидрологических явлений в горах и на равнине;
- создание современной службы прогнозирования и предупреждения об опасных природных явлениях;
- строительства защитных сооружений и проведение мелиоративных работ, снижающих угрозу проявления опасных гидрологических процессов.

Не уверен, что государство при этом хотя бы экономит средства с помощью описанной стратегии, скорее оно их бездарно транжирит и дополнительно расплачивается человеческими жизнями и здоровьем за право разрешать своим соответствующим управляющим структурам действовать непрофессионально.

Будущее гидрологии

Гидрологическое сообщество

К вопросу о научном мировоззрении вплотную примыкает и другой, может быть сводящий нас с небес на землю. Вот он: существует ли единомыслие среди нашего научного, в частности гидрологического, сообщества? Под единомыслием я понимаю не отсутствие различий во взглядах на гидрологические конкретности и в метеорологических пристрастиях, а одинаковость основных жизненных принципов, образа мыслей, научной этики, отношения к природе, понимание своего долга ученого. В этом смысле единомыслие – непременное условие присутствие в сообществе подлинного духа науки.

Можно этот вопрос поставить и по-другому: какую можно дать оценку состоянию современного гидрологического, и не только гидрологического, научного сообщества? Оценка эта, увы, достаточно пессимистична. До конца так и не сложившись, это сообщество неудержимо распадается. Все чаще интересы науки подменяются интересами отдельных личностей. В обиходе мы называем это эгоцентризмом, в науке же дело обстоит гораздо серьезнее, так как при этом постепенно подтачиваются представления о вроде бы непреложных и непреходящих ценностях, сложившихся в умах лучшей части человечества.

Для нынешнего типичного представителя ученого мира уже имеет значение не столько сама наука, сколько свое собственное «Я» в этой науке. Подняться над уровнем личностных интересов удается не многим – сказывается привыкание, окружение, зависимость от иных ценностей, власть имущих. В рамках гидрологии многие, называющие себя гидрологами, часто занимаются окологидрологическими проблемами, о чем много и с сокрушением писал В. Клемеш [Klemeš, 1986]. Обычно это обосновывается идеями расширения круга интересов гидрологии, увеличением разнообразия ее приложений, велением времени и обстоятельств. Но именно в таких условиях становится особо необходимым адекватное развитие и выход на новые высоты собственно гидрологии.

Сколько же нас, горделивых и самонадеянных, пребывает в гидрологии и других науках о Земле! И сколь незначительны из-за этого наши научные достижения!..

Разных людей, в том числе и тех, кого мы формально или по существу называем «учеными», разделяет их мировоззрение. Для краткости изложения обозначу только крайности.

С одной стороны, это духовное, нравственное и интеллектуальное совершенствование, самоотверженный труд, вера в конечный результат. Это благоговейное

восприятие природы. Это стремление смотреть на природу и умение видеть ее. Это желание сопоставлять с ней нашу поэзию, музыку, живопись. Это готовность смиренно и терпеливо расшифровать ее секреты.

С другой – это взгляд на природу как на нечто, заслуживающее только безусловного покорения. Если человек враждебен природе, то, будучи обывателем, он ее просто захламляет: олигарх – использует для ее уничтожения всю мощь политиканства и финансов под флагом экономической целесообразности; ученый – не старается найти с ней общий язык, а пытается преподнести обществу суррогаты этого, теша свою гордыню и тщеславие; деятель искусства – не видит ее воочию и не чувствует ее состояния, а тщится заменить ее изысками самовыражения.

Если говорить о призвании Человека, то он должен быть хранителем Природы, особенно всего живого на Земле. Действительно, мы все ответственны за Природу, но и почти все принимаем участие в ее разрушении. Как дом без души является лишь местом пребывания семьи, так и наш большой Дом, наша Земля, перестает быть таковым, если Человечество окончательно лишит себя некого духовного начала и, вместо понимания и охраны Природы, предпочтет сиюминутную материальную выгоду. Стремительно разрастающийся цикл «экологических наук», лишенных своего функционального духовного начала, уже становится абсолютно бесполезным, ибо он направлен на лечение внешних симптомов, а не самой болезни человеческого общества в его победоносной последней схватке с природой. Вообще, естествознание убивается гордыми умами, склонными все подчинять заранее принятыми положениями под «гипнозом научной терминологии» [Войно-Ясенецкий, 2001].

О критическом начале в гидрологии

Чтобы разгадать сущность современной гидрологической науки, отбросив все, ей мешающее и тормозящее ее развитие, чтобы выявить самые глубинные ее положения и подлинные причины ее достижений и падений, чтобы осознать ее колоссальные скрытые возможности, нужно, помимо естественной профессиональной продвинутости, обладать сильнейшим критическим началом, неуемной фантазией и не очень поощряемой склонностью не считаться с неписанными правилами научного истеблишмента, главное из которых – «не высовывайся»! И еще – стараться осуществить болезненное разграничение того, что есть и того, что должно быть, гидрологии захламленной и гидрологии очистившейся и рванувшейся вперед.

Великие научные споры и дискуссии, столь привычные для нас по сведениям, заимствованным из истории науки и художественных произведений, и о которых у меня

сохранились и собственные воспоминания, ныне почти исчезли с наших горизонтов. И это своего рода катастрофа, ибо «критика – это жизнь науки» (афоризм французского философа 19 века В. Кузена). Станислав Лем как-то заметил, что «наука как целое представляет собой систему с сильной тенденцией к самокорректировке» [Лем, 1990].

Но как на последнюю можно рассчитывать, если мы всеми силами ей сопротивляемся? Здесь уместно вспомнить аналогичное мнение Ч.П. Сноу: «наука – саморегулирующая система» и «критицизм свойственен самому научному прогрессу» [Сноу, 1985]. Видимо все же такое положение вещей постепенно ослабевает.

В последнее время критика на страницах гидрологических книг и журналов – явление настолько редкое, что я счел целесообразным название одной из своих книг, посвященных математическому моделированию процессов формирования стока [Виноградов, Виноградова, 2010], сопроводить специфическим подзаголовком – «опыт критического анализа». При работе над этой книгой критицизм был взят мной на вооружение, и я не стремился к сглаживанию противоречий и ослаблению остроты суждений. Я был уверен, что после выхода книги в свет на меня обрушится шквал несогласий и ответной критики, и с нетерпением ждал этого. Но абсолютно ничего не произошло. И я осознал, что научный мир в науках о Земле не совсем здоров. Действительно, как бы существует неписаное соглашение «о ненападении». Все признают всех, все одобряют, даже когда утверждают противоположные вещи. В самом крайнем случае молчат или замалчивают.

Все гидрологи знают, и многие из них ценят, критические статьи Вита Клемеша, написанные в 80-е годы только что закончившегося века, полные парадоксов и критических обобщений. Но чаще всего – это критика без адресата. Более того, это даже не критика как таковая, а скорее формулирование выявленных общих негативных закономерностей, сложившихся в научной гидрологии. Возможно это своего рода дань воцарившейся в научном обществе безмятежности и привычным нежеланием кого-либо задеть.

Крайнее беспокойство по поводу последствий исчезновения критики в научной среде высказал Дэнни Мак-Кэррол в своей редакционной статье в журнале «Earth Surface Processes and Landforms» [McCarroll, 1997]. Он утверждает, что представляемые на конференциях доклады не должны восприниматься словно последнее слово науки, которыми необходимо восхищаться и которым следует только аплодировать, но не задавать авторам вопросов. И если мы хотим, чтобы наша наука двигалась вперед, нам следует быть критичным, а сама критика должна одобряться и быть желанной. Авторы книг и статей должны писать прямо и открыто, особенно в тех случаях, когда им противоречат мнения других ученых. Мак-Кэррол полагает,

что критический обзор чужих работ – трудная и требующая больших затрат времени (и я бы добавил, что и неблагодарная, – Ю.Б.) задача, но она представляется жизненно необходимой. Я целиком поддерживаю такую позицию, хотя и сознаю, что интересы науки в нынешнем мире подчинены совсем иным приоритетам.

Дискуссии в гидрологии

Традиционно считается, что одним из самых сильных средств упорядочения и продвижения науки являются постоянные целенаправленные дискуссии. В истории физики и наук о Земле мы находим многочисленные примеры этому. Но как обстоит дело с дискуссией, как формой совершенствования научной мысли, в наше время? Задумывался ли читатель о характере и сущности наших научных гидрологических дискуссий? Давайте выделим типичные их формы.

Дискуссии в печати:

- Каким-либо печатным изданием, обычно журналом, объявляется дискуссия по поводу проблем, поднятых в первой опубликованной «статье-затравке». Коэффициент полезного действия такой дискуссии очень низок по той простой причине, что вроде бы добровольным ее участникам по поводу поставленных вопросов просто нечего сказать. Поэтому содержание последующих статей примерно таково: мы тоже занимаемся кругом вопросов в рамках тематики дискуссии, о чем с удовлетворением и заявляем. Выводы, следующие в результате дискуссий, если, несмотря ни на что, они все-таки делаются, очень убоги и ограничены.
- Ставится особо интересная, важная или приходящаяся ко времени некая проблема, и ей посвящается сборник статей. Последний призван отобразить мнение своего рода коллективного разума по поводу поставленной проблемы. Печально, но чаще всего приходится испытывать глубокое разочарование.

Устные дискуссии. Три ее естественных раздела следуют последовательно друг за другом.

- Доклад или серия докладов. Предполагается, что он (или они) должны вызвать оживленную дискуссию («зачем нужна дорога, если она не ведет в храм?» – зачем нужен доклад, если о нем нечего сказать?).
- Вопросы по докладам. По своей природе они могут быть трех основных типов:
  - требующие разъяснения по пустякам, употребляемой терминологии и незначащим деталям;

- свидетельствующие о неутоленном тщеславии вопрошающих или наличии у них разного рода филий и фобий;
- настоящие.

- Обсуждение (собственно дискуссия). О, здесь множество вариантов! Тем не менее, их тоже можно типизировать:
  - обыкновенное словоблудие, не поддающееся осмыслению;
  - самопрезентация типа: «мы занимаемся тоже очень интересными проблемами», после чего следует информация о некоторых работах, имеющих очень слабое отношение к содержанию заслушанных докладов;
  - обсуждение попавшего в поле зрения выступающего какого-нибудь случайного аспекта, часто для этой цели могут служить название доклада или характер иллюстраций;
  - рассуждение по привходящим вопросам;
  - настоящее выступление.

Наличие настоящих вопросов и выступлений свидетельствует о присутствии в зале неравнодушных к науке профессионалов. Моя личная статистика свидетельствует (выборка около 1200 случаев): эмпирическая вероятность появления настоящих вопросов или выступлений оценена от 2 до 7 % в зависимости от моего настроения. Но, как бы там ни было, итог неутешительный.

Интересный вариант попеременного обсуждения проблемы распределенного гидрологического моделирования дан в одноименной монографии, вышедшей под редакцией Михаэля Б. Эббота и Енса Кристиана Рефсгарда из Датского института гидравлики [Distributed Hydrological Modeling, 1996], в которой последовательно присутствуют:

- «дискуссия», предложенная Кейтом Бевеном из Ланкастерского университета,
- «комментарий к дискуссии» Рефсгарда, Шторма и Эббота, основных авторов монографии,

и

- «ответ на комментарий» Бевена.

И все-таки, не смотря на полученное удовольствие от этой полемики, я испытал некоторое разочарование, ибо обозначенные разногласия я назвал бы более чем умеренными. Но подлинно же дискуссионным проблемам обе стороны скорее продемонстрировали единство взглядов, что возможно и являлось конечной целью.

Я пришел к выводу, что дискуссии и споры могут быть эффективны только в кругу единомышленников и, как правило, совершенно бесполезны в среде антагонистов. Поэтому

затруднены они и в ситуации, как бы специально для них созданной. Я имею ввиду обсуждение общих проблем гидрологами и, скажем, экологами или гидрологами и географами. От таких совместных дискуссий ожидается сближение взглядов и методов, однако все происходит наоборот – ширится взаимонеприятие двух типов специалистов. А может быть, мы просто говорим на разных языках, причем не только в фигуральном смысле.

В конечном счете, искусство вести дискуссию, по крайней мере в гидрологии и науках о Земле, вконец угасает. Этому способствуют две основные причины:

- постепенное исчезновение интереса ученого мира к сущностным задачам своей науки, проявление глубокого равнодушия к истинным ценностям, угасание подлинного профессионализма, под которым следует подразумевать не подготовленность к использованию различных методик, математического аппарата и технических средств, а стремление глубже понять природные процессы и явления;
- болезнетворная переоценка ценностей, приводящая нас к пагубному непониманию той, ранее хорошо известной истины, что наш подлинный друг в науке – это наш критик, а лютым врагом является тот, кто расхваливает нас за наше ничтожество с дальним расчетом, что получит в свой адрес подобное же воздаяние.

Не хотелось бы думать, что названные симптомы, проявляющиеся в научных кругах, отображают состояние дел в обществе в целом, будут впредь усугубляться и по своей сути необратимы.

К проблеме дискуссий примыкает немаловажный вопрос о защите проектов, как произведений прикладной гидрологии, и отчетов по грантам и, естественно, об их коллективной оценке. Сравнительно легко показать, например, что один проект лучше другого. Но как доказать, что единственный проект плох? Это как на выборах с одним претендентом. Постичь истину в критических выступлениях почти невозможно. Всегда в ответ услышишь: а что вы предлагаете? Вроде бы и справедливый вопрос, но, сами посудите, вопрошающий ставит как бы в равные условия себя, который поработал над проектом и для этого получил и затратил средства, и критика, который своих проработок по рассматриваемой конкретности естественно не имеет. И опять, посмотрим наоборот: сколько крови работающему человеку попортил желчный критик, который на самом деле до конца так и не понял о чем идет речь. Описанная коллизия вконец дурная. Но есть ли выход? Да, конечно. Собственно их два:

- Первый, фундаментальный. Приведение научного сословия вместе со всем обществом в нормальное состояние, характеризуемое не только интеллектом и профессионализмом, но и порядочностью, гражданской совестью и духовностью.
- Второй, бюрократически-силовой. Создается некая сопровождающая проект документация, содержащая четко сформулированные оценки проекта, заверенные подписями лиц, список которых определен «заказчиком», но ни в коем случае не исполнителем. Такое «сопровождение» окажет определенное благотворное влияние на качество проекта и будет содержать профессиональную информацию, полезную для дальнейших выводов и принятия решений.

Предостережение

Сидя за письменным столом, осмысливая абстракции и конструируя математические модели, исследователь должен видеть за уравнениями и цифрами конкретные природные процессы, явления и ситуации. Аналогично, наблюдая за прохождением паводка на берегу реки или ручья, за формированием стока на склоне во время дождя или при снеготаянии, рассматривая открывающиеся ландшафты с самолета или вертолета, воспринимая их из окна автомашины или во время пешего перехода, он не должен забывать об этих уравнениях и цифрах. Ограниченность деятельности (только письменный стол, только компьютер, только пешеходные маршруты, только вертолет) неизбежно ведет к ограниченности исследования.

Перед гидрологом, который сумеет объединить в своей личности способности экспериментатора, полевика-экспедиционника, теоретика, творца математических моделей, инженера-проектировщика, открываются поистине безграничные возможности в служении своей науке. И конечно, все открывают любовь к природе и умение видеть и ощущать сущность гидрологических процессов.

Умение видеть

Мы, гидрологи, привыкли к своего рода «разделению труда» – кто-то проводит наблюдения на сети гидрометеорологических станций и постов, обрабатывает и организует данные этих наблюдений, а кто-то анализирует полученные данные, пропускает их через математический аппарат, разрабатывает соответствующие методы и модели. Сколь угодно часто можно встретить гидрологов, имеющих лишь неполноценное умозрительное представление о процессах, которые они пытаются математически описать. В какой-то мере более правильным представлениям способствовали экспедиционные исследования. Но и в этом случае вскоре выделилось сословие гидрологов-экспедиционников,

противопоставляющее себя «камеральщикам» и модельерам и тем самым тоже ограниченное. Как ни странно, очень редко встречаются гидрологи, хорошо знакомые и с сетью, и с полем, и с тайнами математического моделирования. И еще меньше гидрологов широкого профиля, способных не только смотреть на природу, но и видеть процессы, в ней происходящие. Ведь наши визуальные наблюдения в природе, сопоставляемые с измерениями, концепциями, теоретическими построениями и проектируемыми моделями, составляют некую основу наших представлений о гидрологическом мире.

Визуальные наблюдения напрямую связаны с искусством увидеть и уразуметь. Редко кто обладает этим искусством в полной мере. Из своего собственного опыта могу привести пример, когда в период гляциальной селевой опасности специалисты гидрометслужбы барражировали на вертолетах над горными хребтами и следили за состоянием ледниково-моренного комплекса. Но, как правило, кроме последующих общих разговоров, каких-либо осязаемых результатов, имеющих непосредственное прогностическое значение, не бывало. Накануне неожиданных селевых катастроф такие облеты также оказывались не информативными. В чем же дело? Неужели предвестники этих катастроф ненаблюдаемы? Будьте уверены, чаще всего наблюдаемы. Но в качестве наблюдателей должны быть специалисты своего дела, глубоко чувствующие природу, в данном случае жизнь ледников и мореных озер. И никакие формальные инструкции и руководства не могут исправить положение. Это не означает, что последние не должны создаваться, но плохое «руководство» гораздо хуже полного отсутствия «руководства».

Гидрологам и геологам, призванным заниматься опасными явлениями природы, приходится по крохам собирать научную информацию, буквально бродя по следам катастроф. И способность читать записи последних на лике Земли является той грамотой, которую необходимо освоить истинным профессионалам. Полноценное визуальное наблюдение – это почти искусство. И похвальное слово о пользе и необходимости видения природных объектов, процессов и явлений я хочу заключить развернутой цитатой из одного эссе Германа Гессе, с моей точки зрения, хорошо объясняющей феномен гидролога Божьей милостью, и конечно не только гидролога.

«Пишет ветер, море, река, ручей, пишут звери, пишет земля, когда она наморщит где-нибудь лоб и вдруг закроет русло потоку, сметет часть горного хребта или разрушит город. Но лишь человек способен и склонен рассматривать содеянное якобы слепыми силами природы как письмена, как объективированный разум… Каждая данность природы может быть воспринята нами как нечто написанное, как некое выражение, стих, эпос, драма.

Воспринимать так свойственно благочестивым людям, детям и поэтам, а также истинным ученым… Эти люди не стремятся, подобно представителям силы и власти, эксплуатировать природу и подчинять ее себе, они также не трепещут в страхе перед ее исполинскими силами, им приятнее созерцать ее, познавать, дивиться ей, понимать и любить». «Будьте же благословенны, удивительные письмена природы, неописуемо прекрасные в невинности ваших детских забав, неописуемо и непостижимо прекрасные и великие также в невинности вашего убиения и уничтожения. [Hesse, 1961]

Обращение к молодым гидрологам

Обращаюсь к вам, молодые люди, пришедшие в гидрологию. Это очень интересная и достойная наука, приносящая обществу и государству великую пользу. Последняя могла бы быть многократно больше, если бы не разного рода помехи, возникновение которых присуще как самому ученому миру, так и соответствующим государственным структурам, от которых зависит развитие науки и ее наиболее эффективное использование на пользу России.

Как утвердить интерес к гидрологии у ее молодых энтузиастов и этим заложить основы будущего нашей науки? Как молодых гидрологов сделать нескучными людьми, лишь вяло интересующимися возможностями гидрологии, а подлинными профессионалами своего дела?

Самое лучшее решение проблемы – образование, особенно на магистерском и аспирантском уровнях, это установление личной связи ученика и наставника, когда первый участвует в конкретной научной работе, обсуждении идей и погружается в размышления о путях решения гидрологических проблем. Это уже то, чему нельзя научиться, отсидев лекции и испытав дискомфорт на экзаменах.

А далее я вынужден произнести горькие слова, хотя вообще-то это и не принято. Но дела обстоят таким образом, что сокрытие правды способно только усугубить и без того непростую ситуацию. Каждому времени соответствуют свои достижения и трудности. Следует признать, что сейчас мы дожили до такого момента, когда планомерное развитие науки почти приостановлено, и стало стремительно расти количество лжеученых. Это не только печальное, но и общественно опасное явление, ибо последние, соответствующим образом титулованные, руководя аспирантами и соискателями, стремятся лепить своих учеников по своему образу и подобию. Что же делать в таких условиях молодому специалисту, честно желающему испробовать свои силы в лоне той науки, которую он себе выбрал? Как он сможет отличить настоящего наставника или хотя бы просто доброго советчика от лжеучителя?

Выбор наставника и руководителя в науке – дело сугубо личное, но молодые люди часто руководствуются при этом не всегда достойными мотивами или же предоставляют решение течению обстоятельств. В то же время – это проблема не простая, требующая благоразумия и осторожности. И безусловно, перед выбором следует тщательно ознакомиться как с положением дел в гидрологии вообще, так и с научными работами своего потенциального руководителя и его возможных, в ваших глазах, «соперников». Однако такую, в общем-то, не очень простую работу не каждый захочет проделать, но в этом случае молодой человек уже сам несет ответственность за все изъяны дальнейшей линии своей научной жизни. И не будьте «лжеучениками». Ну а я еще рассчитываю на то, что прочтение или, на худой конец, ознакомление с этой статьей, возможно, поможет вам не впасть во многие заблуждения.

Все сказанное значимо не только для будущих ученых-гидрологов, но и гидрологов-инженеров, гидрологов-сетевиков, гидрологов-прогнозистов, гидрологов-экспедиционников, а также руководителей и менеджеров в области гидрологии.

Итак, научитесь различать ученых настоящих и мнимых. Не пугайтесь, если я скажу вам, что последних сейчас намного больше: «имя им легион». Это одна из сторон современного духовного и интеллектуального нездоровья нашего общества.

Но сильных духом все это не должно обескураживать. Наоборот…

В добрый Путь!

Литература

Аполлов Б.А. Учение о реках: учебник геогр. фак. ун-тов, 2-е изд. М.: изд-во Моск. университета, 1963. 423 с.

Великанов М.А. Гидрология суши. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1948. 530 с.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Изд. Центр «Академия», 2010. 297 с.

References

Abbott M.B., Refsgaard J.C. (Eds). *Distributed Hydrological Modeling* Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996. 321 p. DOI: 10.1007/978-94-009-0257-2

Apollov B.A. *Uchenie o rekakh: uchebnik geograficheskikh fakul'tetov universitetov [Studies about the river]*. Moscow, Publ. of Moscow University, 1963. 423 p. (In Russian).

Chow V.T. *Handbook Of Applied Hydrology: a compendium of water-resources technology*. New York, McGraw- Hill, 1964. 1495 p.

Войно-Ясенецкий В.Ф. (Святитель Лука Крымский) Наука и религия. Феникс, Православная библиотека «Троицкое слово», 2001. 320 с.

Гледко Ю.А. Гидрогеология: учеб. пособие. Мн.: Выш шк., 2012. 446 с.

Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 564 с.

Даль В.И. Толковый словарь живого Великорусского языка: в 4 т. Том 1. А-З. Издание книгопродавца-типографа М.О. Вольфа, 1880. 812 с.

Картвелишвили Н.А. Стохастическая гидрология. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 168 с.

Кнорринг В.И. Теория, практика и искусство управления: учебник для вузов по специальности "Менеджмент". М.: Издательство НОРМА, 2001. 528 с.

Кренке А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 288 с.

Лем С. О «неопознанных летающих объектах» / Пер. К.В. Душенко // Рациональное и иррациональное в современном сознании / Ред. Р.А. Гальцева. М., ИНИОН, 1987. Вып. 4.

Dal' V.I. *Tolkovyi slovar' zhivogo Velikorusskogo yazyka: v 4 t. Tom 1. A-3 [Explanatory Dictionary of the Living Great Russian Language: in 4 vol. Volume 1. Letter A-3].* Publ. of the bookstore-typographer M.O. Wolf, 1880.812 p. (In Russian).

Dingman S.L. *Physical Hydrology*. Macmillan Publishing Company, 1994. 575 p.

Edel'shtein Ya.S. *Osnovy geomorfologii: kratkii kurs [Fundamentals of geomorphology: a short course]*. Moscow, State Pedagogical Edition, 1938. 329 p. (In Russian).

Gledko Yu.A. *Gidrogeologiya: uchebnoe posobie [Hydrogeology: a training manual]*. Minsk, Publ. Vysshaya shkola, 2012. 446 p. (In Russian).

Glyatsiologicheskii slovar' [Glaciological Dictionary] by Kotlyakov V.M. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1984. 564 p. (In Russian).

Hesse H.K. Schreiben und Schriften / *Neue Zürcher Zeitung* 15.08.1961

Hutchinson, G.E.A. *Treatise on limnology*. London, 1957 (Russ. ed.: Khatchinson D. *Limnologiya: geograficheskie, fizicheskie i khimicheskie kharakteristiki ozer*. Moscow, Publ. Progress, 1969. 591 p.)

Kartvelishvili N.A. *Stokhasticheskaya gidrologiya [Stochastic hydrology]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1981. 168 p. (In Russian).

Knorring V.I. *Teoriya, praktika i iskusstvo upravleniya: uchebnik dlya vuzov po spetsial'nosti "Menedzhment"*

Линслей Р.К. Колер М.А., Паулюс Д.Л.Х. Прикладная гидрология / Пер. с англ. В.М. Бицилли [и др.]; Под ред. [и с предисл.] проф. А.Н. Бефани. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 759 с.

Мягков С.М. Проблема роста ущерба от стихийных бедствий // Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). М.: Научный мир, 2000. С. 277-291

Патерсон У.С.Б. Физика ледников / Пер. с англ. М.Г. Гросвальда, В.Л. Мазо, О.П. Чижова; под ред. В.М. Котлякова. М.: Мир, 1984. 472 с.

Полинг Л., Полинг П. Химия. М.: Мир, 1978. 686 с.

Сноу Ч.П. Портреты и размышления: эссе, интервью, выступления / Пер. с англ. Сост. С. Бэлза. М.: Изд. Прогресс, 1985. 368 с.

Хатчинсон Д. Лимнология: географические, физические и химические характеристики озер / сокращенный перевод с английского Г.В. Цыцарпина и. Г.Г. Шинкар; редакция и предисловие Л.Л. Россолимо. М.: Прогресс, 1969. 591 с.

[Theory, practice and the art of management: a textbook for universities in the specialty "Management"]. Moscow, Publ. NORMA, 2001. 528 p. (In Russian).

Klemeš V. Dilettantism in hydrology: Transition or destiny? *Water Resources Research*, 1986, vol. 22, iss. 9S, pp. 177S-188S. DOI: 10.1029/WR022i09Sp0177S

Krenke A.N. *Massoobmen v lednikovykh sistemakh na territorii SSSR [Mass-exchange in Glacier Systems over the Territory of the USSR].* Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1982. 288 p. (In Russian; abstract in English).

McCarroll D. Really Critical Geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1997, vol. 22, iss. 1, pp. 1-2. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9837(199701)22:1<1::AID-ESP780>3.0.CO;2-F

Lem S. O "niczidentyfikowanych objektach latajacych". *Przeglad techniczny-innowacje.* Waszawa, 1977, no. 50/51. (Russ. ed.: Lem S. O «neopoznannykh letayushchikh ob"ektakh». *Ratsional'noe i irratsional'noe v sovremennom soznanii*. Moscow, Publ. INION, 1987. Vyp. 4).

Linsley R., Kohler M., Paulhus J. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1949. (Russ. ed.: Linslei R.K. Koler M.A., Paulyus D.L.Kh. *Prikladnaya gidrologiya*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1962. 759 p.)

Myagkov S.M. Problema rosta ushcherba ot stikhiinykh bedstvii [The problem of growing damage from natural disasters]. *Global'nye izmeneniya prirodnoi sredy*

Шумский П.А. Задачи и методы изучения колебаний ледников // Научные труды института механики МГУ. 1975. № 42. С. 5-11.

Щукин И.С. Четырехъязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии / Под ред. А.И. Спиридонова. М.: Советская энциклопедия, 1980. 703 с.

Эдельштейн Я.С. Основы геоморфологии: краткий курс. М.: Государственное учебно-педагогическое издание, 1938. 329 с.

Chow V.T. Handbook Of Applied Hydrology: a compendium of water-resources technology. New York: McGraw- Hill, 1964. 1495 p.

Dingman S.L. Physical Hydrology. Macmillan Publishing Company, 1994. 575 p.

Distributed Hydrological Modeling / Abbott M.B., Refsgaard J.C. (Eds). Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996. 321 p. DOI: 10.1007/978-94-009-0257-2

Hesse H.K. Schreiben und Schriften / Neue Zürcher Zeitung 15.08.1961

Klemeš V. Dilettantism in hydrology: Transition or destiny? // Water Resources Research. 1986.

(klimat i vodnyi rezhim) [Global changes in the environment (climate and water regime)]. Moscow, Publ. Nauchnyi mir, 2000, pp. 277-291. (In Russian).

Paterson W.S.B. *The physics of glaciers*. Pergamon Press, 1981. (Russ. ed.: Paterson U.S.B. *Fizika lednikov*. Moscow, Publ. Mir, 1984. 472 p.)

Pauling L., Pauling P. *Chemistry* San Francisco, W.H. Freeman and company, 1975. 767 p. (Russ. ed.: Poling L., Poling P. *Khimiya*. Moscow, Publ. Mir, 1978. 686 p.)

Shumskii P.A. Zadachi i metody izucheniya kolebanii lednikov [Tasks and methods for studying the fluctuations of glaciers]. *Nauchnye trudy instituta mekhaniki MGU [Scientific proceedings of the Institute of Mechanics of Moscow State University]*, 1975, no. 42, pp. 5-11. (In Russian).

Shchukin I.S. *Chetyrekh"yazychnyi entsiklopedicheskii slovar' terminov po fizicheskoi geografii [The four-language encyclopedic dictionary of terms in physical geography]*. Moscow, Publ. of Soviet Encyclopedia, 1980. 703 p. (In Russian).

Snou Ch.P. *Portrety i razmyshleniya: esse, interv'yu, vystupleniya [Portraits and reflections: essays, interviews, speeches]*. Moscow, Publ. Progress, 1985. 368 p. (In Russian).

Velikanov M.A. *Gidrologiya sushi [Hydrology]*. Leningrad, Hydrometeorological publishing house, 1948. 530 p. (In Russian).

Vol. 22. Iss. 9S. P. 177S-188S. DOI: 10.1029/WR022i09Sp0177S

McCarroll D. Really Critical Geomorphology // Earth Surface Processes and Landforms. 1997. Vol. 22. Iss. 1. P. 1-2. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9837(199701)22:1<1::AID-ESP780>3.0.CO;2-F

Wiest R. De J.M. Geohydrology. New York, London, Sydney: John Wiley and Sons, 1965. 366 p.

Vinogradov Yu.B., Vinogradova T.A. *Matematicheskoe modelirovanie v gidrologii [Mathematical modeling in hydrology]*. Moscow, Academy Publ., 2010. 297 p. (In Russian).

Voino-Yasenetskii V.F. (Svyatitel' Luka Krymskii) *Nauka i religiya [Science and religion]*. Feniks, Pravoslavnaya biblioteka «Troitskoe slovo», 2001. 320 p. (In Russian).

Wiest R. De J.M. *Geohydrology*. New York, London, Sydney: John Wiley and Sons, 1965. 366 p.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В научный журнал «Гидросфера. Опасные процессы и явления» принимаются статьи на русском и английском языках в соответствии с основными тематическими разделами:

1. Фундаментальные проблемы гидросферы Земли.
2. Опасные процессы в гидросфере: фундаментальные и инженерные аспекты
3. Экологические проблемы и опасности в гидросфере.
4. Эволюция гидросферы.
5. Методы, модели и технологии.
6. Вопросы совершенствования нормативной документации.
7. Мониторинговые, экспериментальные и экспедиционные исследования.
8. Научные дискуссии.
9. Наследие.
10. Хроника.

Плата за публикации статей не взымается. Гонорар авторам не выплачивается. Все статьи после формирования выпуска размещаются на сайте журнала в свободном доступе.

Общие требования к оформлению статьи:

- формат **.doc** или **.docx**; все поля страницы – по 2 см;
- шрифт Times New Roman, размер – 12 pt;
- междустрочный интервал – полуторный, переносы в словах не допускаются;
- абзацный отступ – 1,5 см, выравнивание текста – по ширине (за исключением титульной страницы, формул, сносок, рисунков и таблиц).

Титульная страница должна содержать следующие элементы:

- УДК (выравнивание по левому краю);
- название статьи (регистр как в предложении, выравнивание по центру) не более 14 слов;
- инициалы и фамилия автора (авторов) (выравнивание по центру);
- полное название организации, в которой работают авторы, с указанием города и страны (курсив, выравнивание по центру);
- e-mail контактного автора (выравнивание по центру);
- аннотация объемом 230-250 слов, которая должна включать актуальность темы исследования, постановку проблемы, цели исследования, методы исследования, результаты и ключевые выводы;
- ключевые слова – 6-10 слов, предельно отражающих предмет исследования.

При подготовке статьи редакция настоятельно рекомендует придерживаться формата **IMRAD**, подразумевающего структурирование статьи на следующие элементы:

- введение (Introduction), содержащпй актуальность исследования, обзор литературы, постановку проблемы, формулирование целей и задач исследования;
- методы (Methods), содержащий описание методики (методов) и схем экспериментов/наблюдений, материалов, приборов, оборудования и условий экспериментов/наблюдений;
- результаты (Results) – фактические результаты исследования и их интерпретация;
- обсуждение (Discussion) – краткие итоги разделов статьи без дословного повторения.

Таблицы и рисунки оформляются без абзацного отступа с выравниванием по центру, отделяются пустыми строками от основного текста. Все рисунки должны быть максимального качества. В таблицах допускается использование одинарного междустрочного интервала, шрифта меньшего размера (не менее 10 pt). Каждая таблица и рисунок должны иметь номер (используются арабские цифры) и название. Все подписи к таблицам и рисункам должны содержать источники информации (за исключением случаев, когда они созданы автором статьи).

Единицы измерения по тексту статьи указываются в международной системе единиц. **Десятичные числа** набираются через запятую (например, 1,25).

Аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом употреблении.

Если таких элементов много, статью можно дополнить списком сокращений с расшифровкой.

Формулы должны быть вставлены как объект Microsoft Equation или набраны в редакторе формуле Word, располагаться по центру страницы без абзацного отступа, сопровождаться сквозной нумерацией (по правому краю), а также иметь экспликацию (расшифровку обозначений при первом их упоминании с указанием единиц измерения).

В конце статьи могут быть приведены **Благодарности**, в котором следует упоминать людей, которые помогали при работе над статьей; источники финансирования.

Отсылка на затекстовые библиографические ссылки приводится по тексту статьи в квадратных скобках путем упоминания всех авторов (при отсылке к источнику с 1-3 авторами), либо первого автора и слов «и др.» («et al.») (при отсылке к источнику с 4 и более авторами) и года издания. Ссылки на несколько публикаций одного автора за один год помечаются добавлением буквы к году издания. В случае отсылки на несколько источников, они приводятся в хронологическом порядке и разделяются точкой с запятой.

Форматы оформления основных видов затекстовых библиографических ссылок:

Ссылка на книгу: *Фамилия И.О.* Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности (например, редактор). Место издания (город): Издательство, год. Количество страниц в книге. DOI:

Ссылки на диссертацию или автореферат: *Фамилия И.О.* Заглавие диссертации. Тип диссертации. Место издания (город), год. Количество страниц в диссертации. DOI:

Ссылки на статью в книге: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности. Место издания (город): Издательство, год издания. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на статью в периодическом издании: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие журнала. Год. Том. №. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на материалы в сборнике конференции: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие сборника конференции: Сведения, относящиеся к заглавию сборника (место и даты проведения конференции). Место издания (город): Издательство, год. Том. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на электронный источник: *Фамилия И.О.* Заглавие материала [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию // Заглавие интернет-источника. Год создания ресурса. URL: адрес статьи (дата обращения: 01.01.2013).

В затекстовые библиографические ссылки включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов, материалы конференций, разделы книг и книги). Если необходимо сослаться на нормативный документ либо на статью в газете, текст на сайте или в блоге, следует поместить информацию об источнике в сноску по основному тексту статьи. **Сноски** оформляются сквозной нумерацией по всему документу арабскими цифрами. В сносках помимо источников может быть другая дополнительная информация. Текст в сносках оформляется без абзацного отступа, выравнивается по ширине, размер шрифта – 10 pt.

Кроме того, обязательно подается **авторская справка**, содержащая информацию обо всех авторах: фамилия, имя, отчество (полностью); ученые степень и звания; место работы с указанием должности; контактный телефон; e-mail; авторские индексы.

На **английском языке** в обязательном порядке приводятся: титульная страница; названия таблиц и рисунков; благодарности (при наличии); литература (содержащая, как транслитерацию, так и перевод на английский язык); авторская справка.

При этом англоязычный вариант аннотации (**Abstract**) должен быть информативным (не содержать общих слов); оригинальным (не быть калькой русскоязычной аннотации); содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); структурированным (следовать логике описания результатов в статье); «англоязычными» (написаны качественным английским языком); компактным (укладываться в объем до 300 слов).

Подробные правила приведены http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements.

AUTHOR GUIDELINES

Articles in Russian and English accepted at the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena" in accordance with the main sections:

1. Fundamental problems of the Earth's hydrosphere
2. Hazardous processes in the hydrosphere: fundamental and engineering aspects
3. Ecological problems and hazards in the hydrosphere
4. The evolution of the hydrosphere
5. Methods, models and technologies
6. Issues of improving regulatory documentation
7. Monitoring, experimental and expeditionary research
8. Scientific discussions
9. Heritage
10. Chronicles

There is no fee for publishing articles. The authors are not paid a fee.

All articles after the formation of the issue are posted on the journal's website in the public domain. Materials published in journal are freely available and posted on the journal website.

The general format requirements for articles to be published:

- file format .doc or .docx; fields 2 cm on the perimeter of the page;
- font Times New Roman, the main font size – 12 pt;
- line spacing – 1,5, the use of automatic hyphenation in words is not permitted;
- indent – 1,5 cm, text alignment on the page width (except for the title page, formulas, links, figures and tables).

The title page should contain the following elements:

- title of the article (register as in the sentence, alignment in the centre) no more than 14 words;
- author (s)' name (alignment in the centre);
- organization affiliation, indicating the city and country (in italics, alignment in the centre);
- e-mail of the contact author (center alignment);
- abstract up to 250 words, which should include the relevance of the research topic, problem statement, research objectives, research methods, results and key findings;
- keywords – 6-10 words, reflecting the content of an article.

The main text.

The editors strongly recommend original research articles are structured in IMRAD format:

Introduction – Why was the study undertaken? What was the research question, the tested hypothesis or the purpose of the research?

Methods – When, where, and how was the study done? What materials were used or who was included in the study groups (patients, etc.)?

Results – What answer was found to the research question; what did the study find? Was the tested hypothesis true?

Discussion – What might the answer imply and why does it matter? How does it fit in with what other researchers have found? What are the perspectives for future research?

Tables and figures should be centered on page without indentation, separated from the main text by empty lines. All figuries should be in highest quality. There are allowed of using a single line spacing, and a smaller font (no less 10 pt) in tables. Each table and figure should have a number and a title. All signatures to tables and figures should contain sources of information (except when they are created by the author of the curent article).

Units of measurement in the text of the article are indicated in the international system of units.

Decimal numbers are comma-separated (e.g. 1,25).

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter. If there are a lot of abbreviations, the article can be supplemented by a section with a list of abbreviations with decryption.

For equations use a Microsoft Equation object or Word equation editor, they should be located in the center of the page without indentation and accompanied by continuous numbering (on the right edge). All equations must have an explication (defining of symbols at the first mention of them with units measurements).

If it necessary **Acknowledgments** of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. Footnotes to the text are numbered consecutively.

Cite references in the text by last name and year in square brackets. If reference consist not more than three authors, you should place in text all author. If there are more than four authors - place in brackets the first author and words "et al." and not forget about year of publishing. If you need several reference cite in one place of text - please separate each reference by semicolons. If you use several references of one author in the same published year - you must separate it by letter near the year in reference list and in text.

References list should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should be mentioned in the footnotes. Reference list should be alphabetized by the last names of the first author. If you use several references of author

Some formats for references list:

Book reference: Author A.A. *Title of book*. City, Publisher, year. 100 p. DOI:

Book chapter reference: Author A.A. Title of chapter. In Editor E.E. (ed.), *Title of book.* City, Publisher, year, pp. 1-20. DOI:

Dissertation reference: Author A.A. *Title of thesis. Thesis type.* City, year. 100 p. DOI:

Jornal article reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49-53. DOI:

Conference Proceedings reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Conference Proceedings (date and place of the conference)*, City, Publisher, 2005, vol. 1, pp. 49-53. DOI:

Online document reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol.10, no. 2, pp. 49-53. Available at: http://example.com/example.

For the detailed information about the author(s), please at the end of article give us some additional information:

full names of author(s);
academic degree and title;
organization affiliation with full address (including Post Code);
position in organization;
contact telefon (for all authors);
contact e-mail (for all authors);
scientific indexes (scopus, orcid, web of science etc.).

Detailed rules for articles will be given on the website of the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena”: http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements

Научное издание

ГИДРОСФЕРА. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ.

HYDROSPHERE. HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA
(GIDROSFERA. OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)

Главный редактор: академик РАН Г.И. Долгих
Компьютерная верстка: М.М. Кадацкая

На обложке фото А.Х. Хайдарова, рисунки Н.А. Казакова

Подписано в печать 30.12.2019. Формат: 60x84/8
Бумага: офсетная. Печать плоская
Усл. печ. л. 19,2. Тираж 50 экз. Заказ № 5243

Тип распространения: бесплатно на сайте журнала www.hydro-sphere.ru

Издатель: ООО НПО «Гидротехпроект»
Санкт-Петербург, 14-я линия В.О. д. 97 пом. 3н
Для почтовых отправлений:
199155 Санкт-Петербург, а/я 136

Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»
Тел. +7(812)313-83-48
e-mail: info@hydro-sphere.ru

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в издательстве «Лема»
Санкт-Петербург, 1-я линия В.О., д. 28




ISSN 2686-7877
9 772686 787001 >